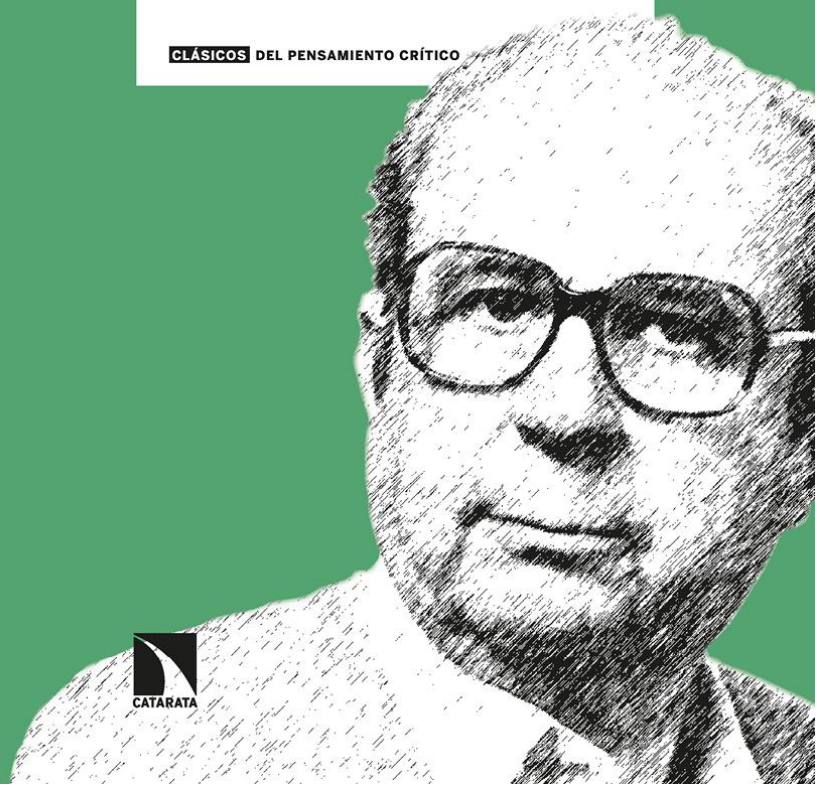
ANTOLOGÍA

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

ENSAYOS BIOECONÓMICOS

EDICIÓN DE
ÓSCAR CARPINTERO

CLÁSICOS DEL PENSAMIENTO CRÍTICO



CATARATA

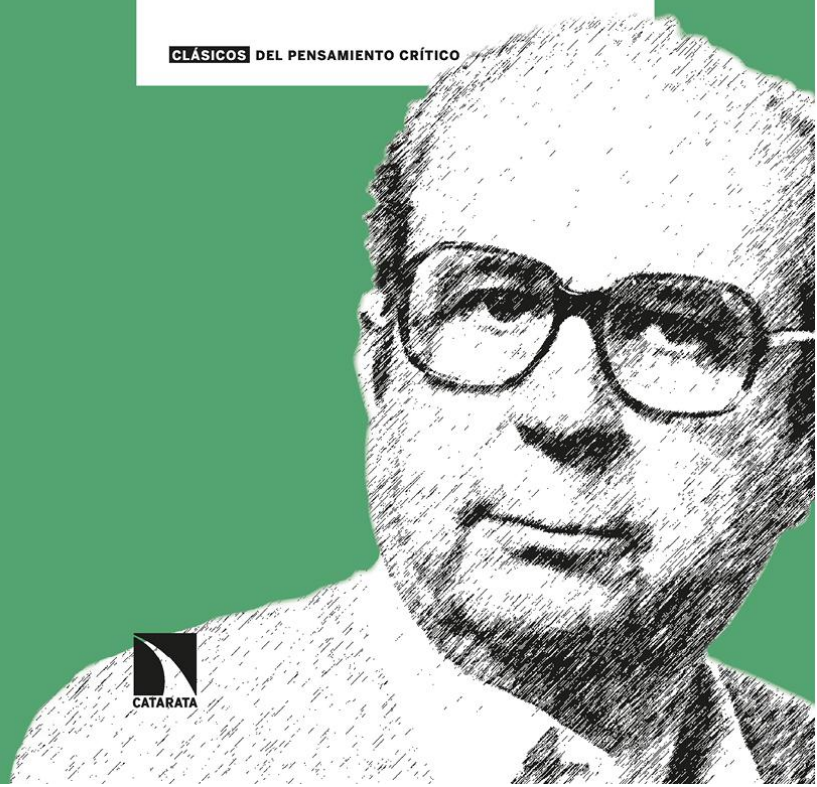
ANTOLOGÍA

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

ENSAYOS BIOECONÓMICOS

EDICIÓN DE
ÓSCAR CARPINTERO

CLÁSICOS DEL PENSAMIENTO CRÍTICO



CATARATA

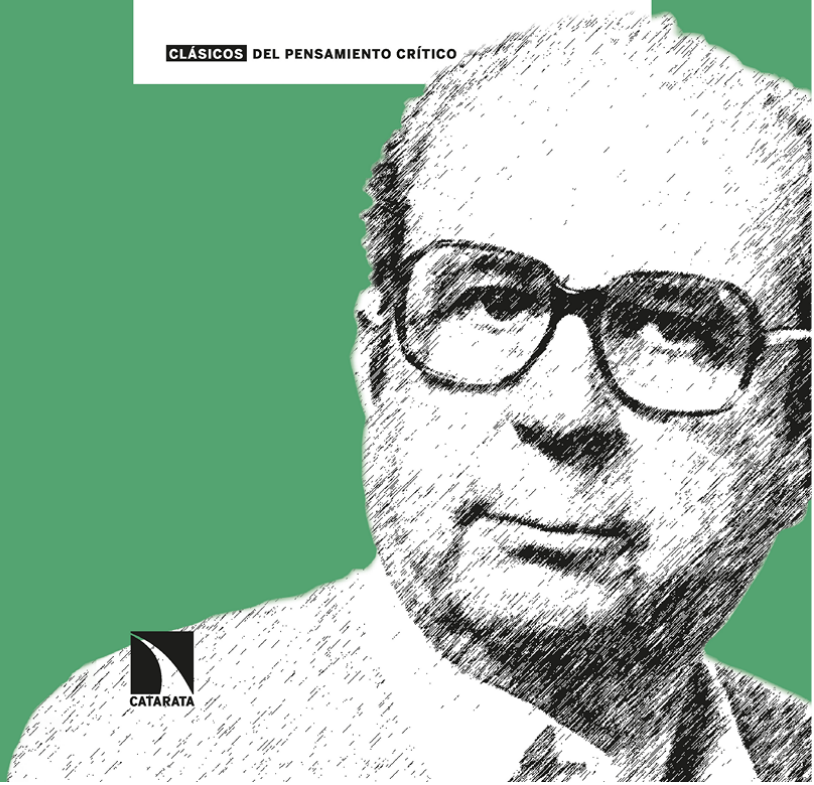
ANTOLOGÍA

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

ENSAYOS BIOECONÓMICOS

EDICIÓN DE
ÓSCAR CARPINTERO

CLÁSICOS DEL PENSAMIENTO CRÍTICO



CATARATA

Óscar Carpintero

Valladolid, 1972. Es doctor en Economía, profesor titular de Economía Aplicada de la Universidad de Valladolid y miembro del Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDS) de dicha universidad. Sus líneas de investigación se centran en el campo de la economía ecológica, el metabolismo socioeconómico, la sostenibilidad ambiental de la economía española, la energía y el cambio climático. Entre sus publicaciones destacan libros como La bioeconomía de Georgescu-Roegen (Barcelona, Montesinos, 2006), El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000) (Lanzarote, Fundación César Manrique, 2005), o Entre la economía y la naturaleza (Madrid, Los Libros de la Catarata, 1999). Ha publicado numerosos artículos en revistas internacionales como Ecological Economics, Energy Policy, American Journal of Economics and Sociology, Ecological Indicators, Energy o Research in Political Economy.

Nicholas Georgescu-Roegen

Ensayos bioeconómicos

Edición de Óscar Carpintero

Colección Clásicos del Pensamiento Crítico

Fundador: Francisco Fernández Buey (1943-2012)

directores: Jorge Riechmann y César de Vicente Hernando

Los títulos que integran esta colección tienen una orientación fundamentalmente pedagógica. Su objetivo es acercar al lector actual la obra y el pensamiento de aquellos autores y autoras que han destacado en la elaboración de un pensamiento crítico a lo largo de la historia: enseñar qué dimensión histórica tuvieron y qué dimensión política, social y cultural tienen; enseñar cómo se leyeron y cómo se leen hoy.

© De esta edición, Óscar Carpintero, 2021

© Los libros de la Catarata, 2021

Fuencarral, 70

28004 Madrid

Tel. 91 532 05 04

www.catarata.org

Ensayos bioeconómicos

isbne: 978-84-1352-382-8

ISBN: 978-84-1352-318-7

DEPÓSITO LEGAL: M-27.238-2021

THEMA: KCA/KCVG/3MPQ

Estos materiales han sido editados para ser distribuidos. La intención de los editores es que sean utilizados lo más ampliamente posible, que sean adquiridos originales para permitir la edición de otros nuevos y que, de reproducir partes, se hagan constar el título y la autoría.

Nota a la segunda edición

Para la publicación de esta segunda edición de Ensayos bioeconómicos de Nicholas Georgescu-Roegen en la colección Clásicos del Pensamiento Crítico, se ha revisado de nuevo todo el texto y corregido algunas erratas menores. Así mismo, se ha actualizado la introducción al volumen y, como novedad, se ha incorporado una cronología que permite encuadrar la trayectoria vital de Georgescu-Roegen dentro de los principales acontecimientos del siglo XX. Agradezco a Jorge Riechmann sus amables sugerencias y ayuda para que todo llegara a buen puerto.

Por otro lado, esta segunda edición se publica justamente en un año especial. En 2021 se cumple el 50º aniversario de la publicación de La ley de la entropía y el proceso económico, que fue la obra más profunda y ambiciosa del economista rumano. Sirva, pues, esta doble coincidencia como pequeño homenaje para volver sobre la obra de uno de los economistas más importantes y lúcidos del siglo XX.

Óscar Carpintero

Introducción

Nicholas Georgescu-Roegen: un economista transdisciplinar*[1]

Óscar Carpintero

Para marcar época, afirmaba Goethe, hay que dejar un considerable legado. El legado de Georgescu-Roegen es inmenso. Todavía hoy se desconoce su envergadura. Nuestros descendientes, que sufrirán las consecuencias de nuestra arrogancia y de nuestra negligencia, nos reprocharán el olvido de un genio ... que derrochó energía en vivificar (en la plena acepción del término) nuestro modo de pensar la economía.

Jacques Grinevald, 1996

Ninguna ciencia podría progresar si no existieran disidentes entre sus adeptos.

Joseph Alois Schumpeter, 1941

Nicholas Georgescu-Roegen fue un economista excepcional en el panorama de la ciencia económica del siglo XX, y ha sido uno de los padres de lo que, en la actualidad, se conoce como economía ecológica (y que él prefería denominar bioeconomía). Esa excepcionalidad tiene que ver tanto con su trayectoria vital como con su quehacer intelectual, pues ambas cosas, en su caso, estuvieron siempre muy entrelazadas. Nació en Rumanía en 1906 y murió en Estados Unidos en 1994, y esa longevidad le convirtió en testigo privilegiado de los principales acontecimientos del siglo pasado, algunos de los cuales presenció en primera fila. La mitad inicial de su vida, salvo una estancia temporal en París, Londres y EE UU, la pasó en su tierra natal, donde presenció y sufrió cuatro dictaduras consecutivas. La segunda parte, desde 1948, se desarrolló de manera más tranquila en Estados Unidos, donde pudo dedicar el tiempo y el trabajo necesarios para poner en pie su

enfoque bioeconómico.

1. Primeros años y primeras influencias

Georgescu-Roegen procedía de una familia humilde en la que, como él solía decir, “una bicicleta significaba para los ingresos paternos lo mismo que la compra de un Cadillac”. Estuvo rodeado de una madre institutriz “asombrosamente adicta al trabajo” y de un padre capitán del ejército suspendido del servicio por denunciar las corrupción e ilegalidades de uno de sus superiores. Por suerte, esa honradez paterna fue compensada, en parte, pues permitió al capitán tener el tiempo necesario para dedicarse a la educación del joven Georgescu-Roegen, que a la edad de cuatro años ya sabía leer y escribir. La estrecha relación que unió al padre y al hijo durante ese tiempo orientó los primeros pasos del niño inculcándole una especial responsabilidad ante las tareas intelectuales, y un no menos acusado sentido de la justicia. Sin embargo, para desgracia de Georgescu-Roegen, el capitán murió en vísperas de la Primera Guerra Mundial, cuando aquél sólo contaba con ocho años y, aunque comedido a la hora de rescatar los recuerdos paternos, esa muerte dejó una doble huella sentimental y educativa en el joven de la que caben pocas dudas[2].

Es importante tener en cuenta estas circunstancias, pues, gracias a sus cualidades y esfuerzo, Georgescu-Roegen realizó todos sus estudios becado; cosa que, con el tiempo, y en su etapa posterior a la licenciatura, condicionó algunas decisiones vitales importantes, y le permitió contactar y relacionarse con tres de los grandes científicos que dio el siglo XX: Emile Borel, Karl Pearson y Joseph Schumpeter.

En efecto, después de cursar la licenciatura en matemáticas en Bucarest, y aconsejado por el gran matemático rumano Traian Lalescu, Georgescu-Roegen recibe una ayuda para realizar el doctorado en Estadística en París junto a Emile Borel, con el objetivo posterior de ayudar a cubrir el déficit de datos y personas

cualificadas que demandaban los problemas económicos en Rumanía. Tras recibir con honores su título de doctor en 1930 por el descubrimiento de un método para detectar los componentes cíclicos de una serie temporal, consigue de nuevo una beca para ampliar estudios en Londres. Allí conoce a Karl Pearson, quien dejará una huella palpable en la formación científica y filosófica del futuro economista rumano.

Pero cuando el salto desde la matemática pura a la estadística ya se había producido, Georgescu-Roegen decide probar su método estadístico con las series de datos económicos recogidas por el Harvard Economic Barometer, en Estados Unidos. Conviene percatarse de que, en el momento en que Georgescu-Roegen propone ese viraje en su carrera, Europa y Estados Unidos estaban sufriendo los rigores de la Gran Depresión a comienzos de los años treinta. Y ese viraje se hizo con tan mala suerte que, cuando desembarcó en Estados Unidos, el Barómetro Económico de Harvard había cerrado sus puertas por falta de presupuesto, y también —todo hay que decirlo— de confianza en sus predicciones: apenas una semana antes del famoso "martes negro" fue incapaz de anticipar el desastre que se avecinaba. Esta circunstancia llevó a Georgescu-Roegen, casi por casualidad, a los brazos de Joseph Schumpeter. El economista austriaco estaba embarcado en una investigación sobre los ciclos económicos[3] y quedó "prendado" por la capacidad analítica y destreza matemática de Georgescu-Roegen, así como por su novedoso método para detectar los componentes cíclicos de un fenómeno. Fue esta experiencia durante 1934-36, y con una de las mejores cabezas económicas del siglo, la que, tal vez, dejó una huella más profunda en él. Con Schumpeter, Georgescu-Roegen se convirtió definitivamente en economista (solía decir que se había graduado en economía por la "Universitas Schumpeteriana"). La predilección del erudito austriaco por las dotes analíticas del economista rumano llegó a tal punto que le ofreció escribir en 1936, codo con codo, un tratado de economía que, de haber prosperado, se hubiera convertido en libro de cabecera de varias generaciones. En cualquier caso, Schumpeter influyó en Georgescu-Roegen de varias formas. Por un lado, estimuló en él la preocupación por dominar la historia del pensamiento económico y las aportaciones de los precursores como antídoto a los "descubridores de Mediterráneos". De otra parte,

Georgescu-Roegen siempre valoró en Schumpeter su visión evolutiva del proceso económico como combinación equilibrada del análisis cuantitativo y cualitativo.

Durante esos dos años en Harvard junto a Schumpeter, vivió además los inicios de lo que más tarde, en las décadas siguientes, sería el proceso de "matematización generalizada" de la economía como ciencia social. Y en ese terreno, alguien que procedía de esa tradición formalista tenía un futuro bastante prometedor. De hecho, algunos de los trabajos por los cuales Georgescu-Roegen alcanzó fama dentro del enfoque económico ortodoxo se deben a aquellos años. Pero precisamente es en ese momento cuando Georgescu-Roegen toma una decisión importante, que cambiará radicalmente el rumbo de su vida: cuando se le abrían las puertas de la primera universidad del mundo y una brillante carrera profesional en Estados Unidos, él decide regresar a Rumanía para ayudar a su tierra a salir de la postración económica y social, buscando compensar, en cierta medida, el esfuerzo colectivo que sufragó toda su formación en el extranjero. Esta decisión a contrapelo convertía a Georgescu-Roegen en un ejemplo singular en comparación con la generación de científicos e intelectuales europeos que, huyendo del régimen nazi, emigraron a Estados Unidos a partir de 1933. Mientras la mayoría de ellos fueron obligados a huir al país norteamericano para salvar sus vidas —encontrando allí una buena posición académica desde la que rehacer su futuro—, Georgescu-Roegen recorrió el camino justamente contrario: renunció a una cómoda y brillante carrera científica en Estados Unidos a cambio de un incierto y duro futuro en su tierra natal. Y eso, juzgado retrospectivamente, no tuvo que ser fácil.

Georgescu permaneció en Rumanía doce años (entre 1936 y 1948) hasta que regresó de nuevo a Estados Unidos después de la Segunda Guerra Mundial. Tras ese "exilio en su tierra natal" —como a menudo lo denominaba— ya no siguió siendo el mismo. Se dio cuenta de que la teoría económica ortodoxa aprendida en Harvard, y sus recomendaciones de política económica, sólo eran aplicables —cuando lo eran— a sociedades industriales de abundancia: justamente lo contrario a la situación rumana de entreguerras. También aprendió que el planteamiento empresarial maximizador de los beneficios, junto a las reglas de juego capitalistas, llevaban a

las economías campesinas y sobrepobladas a la ruina social y material. Esa “crisis de fe neoclásica” corrió pareja con su acercamiento a posiciones económicas y políticas procampesinas, dando lugar a su ingreso en el populista Partido Nacional Campesino.

Y, todo hay que decirlo, con importante riesgo para su vida. Después de la Segunda Guerra Mundial, perseguido por el gobierno prosoviético de Groza, se vio obligado a abandonar el país exiliándose en Estados Unidos. Es a partir de este momento cuando, con la tranquilidad recuperada, comienza a meditar sobre las enseñanzas rumanas, y en continuidad con algunos cabos sueltos heterodoxos de sus primeros trabajos, va dando forma a su enfoque bioeconómico, iniciado en la larga introducción a su libro Analytical Economics de 1966[4], y con mayor profundidad y detalle en The Entropy Law and the Economic Process de 1971[5].

2. De la heterodoxia a la disidencia

Tradicionalmente, aquellos que se han acercado a los textos de Georgescu-Roegen suelen distinguir claramente dos etapas. De un lado, estaría lo que Herman E. Daly ha calificado como su etapa de “ciencia normal” —que coincidiría con el inicio de su carrera (1934-1936), finales de los cuarenta y la década de los cincuenta tras su regreso a Estados Unidos desde Rumanía— donde la labor investigadora discurrió por los cauces que marcaba la ortodoxia, esto es: el afianzamiento matemático de la economía en campos como la teoría de la utilidad y del consumo, el análisis input-output, o la econometría (de hecho, Georgescu-Roegen fue, por ejemplo, Associate Editor de la prestigiosa revista de economía matemática Econometrica entre 1951 y 1968). La mayoría de los textos de esta época se encuentran recogidos en su libro Analytical Economics. Es cierto que esos escritos contribuyeron a cubrir algunas lagunas de la teoría económica convencional y no dejaron de recibir el beneplácito de sus compañeros más ortodoxos. Pero las circunstancias y las reacciones cambiaron con posterioridad. Y entre

las razones que contribuyeron a ese cambio de postura estarían sus críticas al exceso formalista de la teoría, pero también lo que Daly, y otros autores con él, han denominado su etapa de "ciencia revolucionaria". Un periodo que comienza ya con la larga introducción a Analytical Economics —fechada en 1964—, continúa con el clásico La ley de la entropía y el proceso económico en 1971, y no finaliza hasta su fallecimiento en 1994. En estos años Georgescu-Roegen pone los cimientos de su bioeconomía tendiendo puentes con la termodinámica y la biología.

Conviene hacer, en cualquier caso, una matización a esta división tan tajante en su trayectoria científica. Es cierto que existen elementos de ruptura entre ambos periodos, pero no lo es menos que, si uno lee detenidamente los primeros textos y los compara con los de la última etapa, también percibe rasgos y preocupaciones permanentes que dan continuidad a la reflexión. En los artículos de los años treinta y cincuenta hay más cosas que el apuntalamiento de la teoría convencional: hay notables críticas a los planteamientos ortodoxos que ponen de relieve importantes paradojas aunque, eso sí, en un impecable lenguaje matemático; y también se pueden rastrear con facilidad los gérmenes de muchas preocupaciones del Georgescu-Roegen maduro. Por tanto, tal vez sea necesario matizar la idea generalizada que distingue claramente entre el primer momento de colaboración con el enfoque ortodoxo y la fase posterior de ruptura desde finales de los sesenta hasta su muerte. La matización ha sido sugerida y bien argumentada por John Gowdy y merece la pena tenerse en cuenta[6].

No es fácil, de todos modos, encontrar una fórmula que dé testimonio de esa peculiar mezcla de motivaciones que, en el caso de Georgescu-Roegen, dan continuidad y rompen el desarrollo de su pensamiento. La solución me la proporcionó hace tiempo la lectura de la excelente introducción que Jacques Grinevald[7] elaboró para la edición española de La ley de la entropía..., y se podría resumir así: Georgescu-Roegen se comporta como un economista heterodoxo, dentro de la corriente principal, cuando tensa la cuerda del paradigma convencional. Y se convierte en un verdadero disidente cuando decide traspasar las fronteras académicas acercándose a otras disciplinas como la termodinámica o la biología. Este tránsito de la heterodoxia a la disidencia es, a mi juicio, la fórmula que

mejor sintetiza la polémica sobre “los dos periodos” de Georgescu-Roegen[8].

Georgescu-Roegen hizo, por tanto, dos cosas notables: realizó aportaciones heterodoxas a la economía convencional y también contribuciones disidentes que traspasaban los estrechos límites del enfoque económico ortodoxo. Su heterodoxia dentro de la corriente principal y su experiencia rumana de entreguerras le llevaron, por ejemplo, a cuestionar la validez de la teoría de los precios convencional para el caso de una economía campesina superpoblada, poniendo sobre el tapete los supuestos “fantásticos” que se escondían tras dicha teoría y que la hacían prácticamente inaplicable a cualquier escenario. Se atrevió también a “desenmascarar lo absurdo de predecir el futuro económico mediante modelos econométricos”, con la salvedad de que dicha crítica no procedía de un economista ignorante de las matemáticas sino de un estadístico y matemático experimentado. Pero, a pesar de tener todo a su favor por su gran dominio de las matemáticas, fue siempre muy consciente de las ventajas y sobre todo de las limitaciones de este instrumento para explicar los comportamientos sociales y económicos. Reparó pronto, por ejemplo, en que muchas veces se confundía el medio con el fin, y se intentaba “forzar” la realidad económica —a veces hasta la tortura— para adaptarla a las propiedades formales que los modelos económicos debían satisfacer. Un abuso formal que desembocó tanto en la elaboración de modelos matemático-imaginativos[9], “fundados en uno o varios supuestos carentes en absoluto de valor operativo fuera de la secuencia lógica que se hace en el papel”, como en la realización de modelos mecánico-descriptivos donde, partiendo de unos medios y recursos dados, se reduce a los individuos a entes impulsados por fuerzas como la maximización de la satisfacción o del beneficio, perfectamente informados, “racionales”, y amparados, a su vez, por un mercado en el que se fusionan armónica y óptimamente todos los intereses alcanzando así el equilibrio económico.

Precisamente esta actitud de denuncia le convirtió en uno de los primeros críticos sistemáticos de la epistemología mecanicista que inunda la abstracción de la teoría económica convencional, y elimina del análisis los rasgos fundamentales en vez de los accesorios construyendo simplificaciones como las del Homo

oeconomicus que resultaban, y aún resultan, poco operativas. Pero no por el hecho de ser abstracciones —cosa normal en el proceder científico—, sino porque su comportamiento mecánico, unidimensional y al margen del contexto social y cultural supone una amputación de la naturaleza humana inaceptable para explicar el comportamiento económico. Epistemológicamente, a Georgescu-Roegen le interesaba encontrar representaciones analíticas válidas de los fenómenos estudiados, y por esa razón se encontraba cada vez más incómodo con las representaciones mecanicistas (por analogía con la física clásica) del comportamiento económico de los individuos postulado por la economía convencional.

Pero la crítica de Georgescu-Roegen no sólo fue pertinente a la hora de describir los comportamientos económicos de los individuos, sino también, y sobre todo, en lo que atañe a la descripción del proceso económico de producción de bienes y servicios. Un proceso que, al tener una naturaleza físico-química, parecía haber quedado al resguardo de toda crítica. De hecho, si uno toma ahora cualquier manual estándar de teoría económica verá que allí, cuando se describe el proceso de producción, los factores productivos (trabajo y capital) se transforman sin pérdida o fricción en mercancías listas para venderse; alimentando así un movimiento mecánico circular, reversible y autosuficiente, donde todo lo producido es consumido y viceversa, pero que oculta deliberadamente la contribución de los recursos naturales a la producción, así como la aparición de los residuos y la contaminación que necesariamente se generan en todo proceso de producción o consumo. Ahora bien, si el proceso de producción implica el uso de energía y materiales, habrá que tener en cuenta las leyes que gobiernan la utilización de esos recursos, y conocer los resultados de las ciencias que se dedican a su estudio, en especial la termodinámica (y su ley de la entropía), y también la biología. Sólo de esta manera se podrá argumentar sobre bases sólidas en contra, por ejemplo, del mito del crecimiento económico indefinido, o de la utilización eterna de la energía y los materiales contenidos en la Tierra.

3. El largo camino hacia la bioeconomía:

el empeño transdisciplinar por tender puentes con la termodinámica y la biología

La evolución intelectual descrita resulta, hasta cierto punto, lógica en un economista cuya formación inicial como matemático, estadístico y autor sensible a los resultados de las ciencias naturales estuvo muy alejada de la tradición central en ciencias sociales. Fue, por tanto, un economista singular. Y lo fue no sólo por los asuntos sobre los que investigó, sino también por la manera fronteriza y transdisciplinar en que lo hizo. Ambas cosas le llevaron a ser un intelectual incómodo, difícil de clasificar dentro de las divisiones marcadas por el panorama científico al uso. Y ya se sabe que, cuando falta la retícula administrativa para encasillar una disciplina, todo son inconvenientes. Por eso, alguien que se coloca en la frontera y se atreve a visitar "un vasto territorio situado más allá de los límites de la economía" no suele salir indemne de semejante viaje. Y Georgescu-Roegen tampoco fue una excepción: su actitud le granjeó el silencio de la mayoría de los suyos y la incomprensión de parte de aquellos que ni siquiera eran parientes académicos próximos. En realidad, cuando el sentido del rigor y sus preocupaciones epistemológicas le llevaron a impugnar de frente el dogma económico convencional, su acercamiento a ciencias de la naturaleza como la termodinámica y la biología fue contemplado con indiferencia por el conjunto de sus compañeros de profesión. Una de las declaraciones que mejor definen la actitud de los economistas convencionales hacia las aportaciones bioeconómicas de Georgescu-Roegen la escribió Mark Blaug hace más de tres décadas. En un libro sobre los Grandes economistas desde Keynes, Blaug reconocía que, a pesar de su gran mérito, las últimas obras de Georgescu-Roegen habían sido "respetuosamente recibidas y rápidamente dejadas de lado"[10], pues parece que las amenazantes referencias a los desarrollos y conexiones de la economía con la física y la biología apenas despertaron el interés del enfoque ortodoxo.

Aunque los textos bioeconómicos de Georgescu-Roegen ven la luz en la década de los sesenta y comienzos de los setenta se sabe —tanto por el testimonio de antiguos alumnos y compañeros de

Vanderbilt como por la documentación contenida en su archivo personal— que las preocupaciones por anudar lazos entre las ciencias de la naturaleza y la ciencia económica ya rondaban por su mente desde finales de los años cincuenta. Se trataba de reflexiones que tenían que ver con la aplicación del segundo principio de la termodinámica a la teoría económica de la producción, y que fueron plasmados en la larga introducción que encabezó su Analytical Economics.

Conviene recordar que el primer principio de la termodinámica establece que la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma. Es decir: la cantidad total de energía permanece siempre inalterable y constante, pudiendo transformarse de un estado a otro (por ejemplo, la energía calorífica que libera la combustión de fuel puede transformarse en electricidad y en calor ambiental) pero sin crearse o destruirse en ese proceso. El segundo principio, o ley de la entropía, no niega lo anterior pero añade algo importante: que en esa transformación, la energía pierde su calidad y se degrada, disminuyendo sus posibilidades para el aprovechamiento humano. Por esta razón, si una parte de la energía se convierte en calor a más baja temperatura, es decir, calor no utilizable o en residuo, las transformaciones energéticas nunca podrán ser eficientes al cien por cien. A su vez, una estructura presentará alta entropía (por ejemplo, las cenizas de un trozo de carbón) cuando toda o la mayoría de su energía no sea utilizable o, por el contrario, poseerá baja entropía (un metro cúbico de gas natural, pongamos por caso) cuando la mayoría de su energía sea utilizable.

Georgescu-Roegen conectó economía y termodinámica dando realismo a la representación del proceso económico e incorporando la distinción cualitativa entre los recursos naturales (con baja entropía), antes de que sean valorados monetariamente, y los residuos (alta entropía) una vez que han perdido su valor. Como el proceso de producción de bienes y servicios transforma recursos de baja entropía en bienes más residuos de alta entropía, esto supone un aumento de la energía no aprovechable, o no disponible, y por tanto de la escasez. Lo que explica que la ley de la entropía se encuentre en la raíz de la propia escasez económica. Y como una de las fuentes que proporciona valor económico a los bienes es su

escasez, entonces, en teoría, cuanto mayor escasez mayor valor de cambio.

Al establecer una conexión, más o menos directa, entre el concepto de valor económico y el de escasez objetiva (posee valor económico aquello que es escaso), Georgescu-Roegen postula que la baja entropía constituye una condición necesaria para que una cosa tenga valor, aunque esta condición no sea suficiente. Para entenderlo mejor: la relación entre el valor económico y la baja entropía sería similar a la establecida entre el precio y el valor. Aunque todo aquello que tiene asignado un precio es porque, de hecho, posee valor; existen, no obstante, muchos bienes que poseen alto valor aunque no tengan establecido ningún precio. Se da así un primer paso para vincular analíticamente la reflexión termodinámica con la económica, pues como resaltó el economista rumano en su obra de 1971, "el hecho significativo para el economista consiste en que la nueva ciencia de la termodinámica comenzó como física del valor económico y, en esencia, puede seguir contemplándose en ese sentido".

Pero Georgescu-Roegen hizo algo más que resaltar este aspecto energético. Sabiendo, como sabía, que la Tierra es un sistema abierto en energía pero cerrado en materiales, llamó la atención sobre el hecho de que, en el futuro, la escasez fundamental no vendría tanto por lado de la energía (habida cuenta la existencia de la radiación solar), sino por la vertiente de los materiales. Y como la actividad económica es un potente instrumento de disipación material, esto le llevó a proponer su polémica "cuarta ley de la termodinámica", para dar cuenta de este aspecto, en su opinión, usualmente descuidado tanto por los economistas como por los termodinámicos.

Ahora bien, el economista rumano no sólo conectó economía y termodinámica. También contribuyó decisivamente a ver el proceso económico desde un punto de vista evolutivo, relacionando los resultados de la biología con la ciencia económica y entendiendo la economía como una rama de la biología interpretada ampliamente. Su bioeconomía fue la fusión de ambas cosas habida cuenta de que, por un lado, la especie humana es una de las especies biológicas del planeta y como tal se encuentra sometida a las leyes que gobiernan

la naturaleza y, de otra parte, es la única especie que en su evolución ha violado ciertos límites biológicos.

Esto lo explica Georgescu-Roegen partiendo de una distinción conceptual —acuñada por el biólogo Alfred Lotka— entre los órganos endosomáticos y los órganos exosomáticos. Los primeros tienen la peculiaridad de acompañar a todo ser vivo desde su nacimiento hasta su muerte (brazos, piernas, ojos, etc.). Precisamente mediante los cambios en esta clase de órganos todo animal se va adaptando mejor o peor a las condiciones vitales y de su entorno. Pero la especie humana halló un método más rápido de evolucionar a través de la progresiva fabricación de órganos separables —o exosomáticos—, que, no formando parte de la herencia genética de la humanidad, son utilizados por ésta en su desarrollo evolutivo para vencer las restricciones biológicas propias. Ejemplos de este tipo de órganos pueden ser desde un simple martillo hasta un automóvil. Muchos de ellos son denominados por los economistas como capital, hecho que "inconscientemente" pone de relieve cómo la visión del proceso económico, entendida como una extensión del proceso biológico en sentido amplio, posee un sólido fundamento. Georgescu-Roegen percibió también muy lúcidamente el conflicto social asociado a la posesión de estos órganos exosomáticos, que desembocan en la aparición de desigualdades sociales importantes: la desigualdad, los privilegios, las luchas de clases y otras luchas sociales están íntimamente unidas a la producción y disfrute de estos órganos exosomáticos.

En 1976, con la publicación de Energy and Economic Myths[11], Georgescu-Roegen anunciaba la aparición de un próximo libro en el que desarrollaría de manera sistemática su visión bioeconómica, esto es, su bioeconomía[12]. Incluso Princeton University Press se había ofrecido para publicarlo. Lamentablemente, el libro no vio finalmente la luz y, aunque existía la esperanza de encontrar entre sus papeles personales donados a la Universidad de Duke algún manuscrito más o menos completo que diera pistas sobre su contenido, lo cierto es que en el archivo depositado en dicha universidad solamente hemos encontrado un esquema del índice y versiones parciales de la introducción y de dos de sus capítulos. Pero, a pesar de no lograr terminar un texto acabado, Georgescu-Roegen sí publicó algunos artículos y capítulos de libros donde

explicaba las ideas principales de su enfoque bioeconómico[13].

A diferencia de algunos autores de la Escuela de Chicago, el economista rumano ya comenzó a hablar de bioeconomía antes de conocer la existencia del término concreto, es decir, primero alumbró el enfoque y después le puso nombre. La primera noticia que se tiene de este término es el libro de H. Reinheimer, publicado en 1913 y titulado Evolution by Co-operation: A Study in Bioeconomics. Georgescu-Roegen no utilizará el término como tal hasta 1972 —fecha en que le es sugerido por una carta de Jiri Zeman fechada el 24 de abril—, aunque el desarrollo fundamental —sin citar expresamente el término— puede verse ya desde la introducción a Analytical Economics, redactada, como es sabido, en 1964. Es decir, que los planteamientos de Georgescu-Roegen fueron contemporáneos, por ejemplo, de la aportación de Abel Wolman sobre el metabolismo de las ciudades, y en ellos se apoyó también Herman E. Daly a la hora de reflexionar sobre las analogías biológicas en economía, en torno al anabolismo y el catabolismo[14].

Es cierto que el economista rumano encontró apoyo e inspiración para su bioeconomía en las enseñanzas de algunos autores de la propia tradición económica como, por ejemplo, Schumpeter, Marshall o Marx. Sin embargo, su vastedad de lecturas iba más allá de los autores de esa disciplina concreta, encontrando en las enseñanzas de otros tres autores los pilares sobre los que edificar su nuevo enfoque. Por un lado, en el ingeniero francés Sadi Carnot, precursor de la termodinámica con su célebre Memoria de 1824 sobre la eficiencia de las máquinas de vapor[15], y al que Georgescu-Roegen consideraba “el primer económetra”. Pero también, desde mediados de los años cincuenta, en las reflexiones de Erwin Schrödinger sobre el mantenimiento de la vida a través de la absorción de baja entropía del entorno para transformarla en alta entropía, lo que le animó a utilizar la ley de la entropía para mostrar las diferencias entre el proceso de producción agrícola y el industrial. A lo que cabría añadir el legado del biólogo Alfred Lotka ya mencionado, que, con la ayuda de algunos de sus maestros economistas, le permitió configurar una visión novedosa de la evolución del sistema económico. Una visión que tuviera en cuenta los resultados fundamentales de las ciencias de la naturaleza, que hiciera explícito, en definitiva, el acercamiento de la economía

hacia sus orígenes biofísicos, esto es: entendiendo la actividad económica, con sus peculiaridades, como una extensión —en sentido amplio y sin reduccionismos— de la evolución biológica de la humanidad. Obviamente, se trata de un planteamiento muy alejado de las pautas vigentes en la Escuela de Chicago.

Georgescu-Roegen dedicó varios pasos de su libro La ley de la entropía y el proceso económico a discutir el concepto de evolución y el segundo principio de la termodinámica como ley evolutiva fundamental. Y a esta interpretación se añadieron las enseñanzas de su antiguo maestro Joseph Schumpeter, con su visión del desarrollo y la evolución económica que éste había sugerido a comienzos del siglo XX. Al reivindicarse como heredero de esta tradición, Georgescu-Roegen une las enseñanzas proporcionadas por la ley de la entropía a las consideraciones schumpeterianas sobre el carácter evolutivo del proceso económico. También toma de su maestro Schumpeter el concepto de innovación para resaltar el rasgo de novedad por combinación; de creación de nuevos bienes, servicios y procesos a través de la combinación de elementos y procesos preexistentes, y que hace del desarrollo económico algo evolutivo e irreversible. Y como, además, representa un cambio cualitativo en relación con fenómenos previos, no resulta fácilmente manejable con los modelos convencionales y los agregados de la contabilidad nacional planteados por los economistas.

Sin embargo, la mayoría de los indicadores “cuantitativos” utilizados para medir la evolución del sistema en su conjunto —como el producto interior bruto (PIB)— ofrecen trayectorias mecánicas simétricas y reversibles, pudiendo aumentar (crecimiento) o descender (depresión). Del mismo modo ocurre con los procesos de acumulación/desacumulación, inversión/desinversión, etc., que no distinguen la diferente naturaleza cualitativa de los bienes y servicios incluidos, o los procesos de innovación y aparición de nuevas mercancías que hacen difícil hablar del crecimiento en el tiempo de una misma cantidad de PIB. El desarrollo económico es, por el contrario, un proceso diferente, refleja cambios cualitativos y, por lo tanto, incorpora un matiz dialéctico y evolutivo. Estos rasgos hacen que se resista a un tratamiento con conceptos y modelos aritmomórficos, lo que explica la dificultad para elaborar herramientas analíticas satisfactorias, y

la imposibilidad de establecer predicciones futuras sobre su trayectoria[16]. Los continuos errores y las dificultades con que se encuentran los económetras a la hora de predecir el futuro más inmediato de cualquier variable económica son una muestra palmaria de este hecho. Esto lo sabía bien Georgescu-Roegen y por eso llamaba a menudo la atención sobre el contraste entre la explicación mecanicista y evolutiva en las disciplinas de ciencias sociales o en la propia biología, donde domina el cambio en su acepción más amplia. Para el economista rumano el estudio cabal de realidades sujetas a transformaciones cualitativas (como el proceso económico) exige la utilización de nociones dialécticas de forma tan imprescindible para el análisis como lo puede ser el uso del andamiaje matemático.

4. Los años setenta: un contexto propicio aunque polémico para las ideas bioeconómicas

El decenio de los setenta del siglo XX comenzó de manera favorable para Georgescu-Roegen. Por un lado, a pesar de su evolución heterodoxa y disidente, la economía convencional reconocía de forma curiosa y paradójica su deuda con él. Con motivo de su jubilación, la American Economic Association (AEA), el principal buque insignia del pensamiento económico ortodoxo, le nombraba Distinguished Fellow en 1971. En el frontispicio del número de junio de 1972 de su revista, la AEA mostró su reconocimiento con estas palabras:

Ningún economista estadounidense, en el ejercicio de su profesión y en sus publicaciones, ha aunado con tanto éxito las áreas de la economía, las matemáticas y la estadística. Georgescu-Roegen nunca ha dejado de ser un abanderado insigne de la tesis de que subsisten muchos problemas fuera del alcance de los números. También lo caracteriza su cabal conocimiento de las instituciones humanas del presente y del pasado. A tal conocimiento, que ocupa

un lugar muy destacado en su escala de valores intelectual, le debemos su agudeza a la hora de adaptar las herramientas analíticas a una estructura compleja. Fruto reciente de un bagaje tan amplio de saberes lo constituye su último libro The Entropy Law and the Economic Process, en el que desarrolla el enfoque revolucionario de que la actividad económica es una extensión de la evolución biológica del ser humano —un proceso entrópico, en vez de la analogía mecánica al uso en la economía matemática—. Al mismo tiempo, Georgescu-Roegen ha sido, aún lo es, un gran profesor. Cada una de sus clases magistrales es el resultado de un arte que domina a fondo, el orgullo de todos aquellos que han tenido la fortuna de ser alumnos suyos y de apreciar su interés continuo y cercano por el progreso académico y la trayectoria profesional de cada cual. A Nicholas Georgescu-Roegen, el estudioso, el maestro, el humanista, le rendimos tributo como a un auténtico hombre del Renacimiento.

Paul Samuelson lo calificó también como “el erudito entre los eruditos, el economista entre los economistas”. Pero es cierto que, a pesar de los elogios, en la práctica, por desgracia, se seguía cumpliendo el acertado juicio vertido por Mark Blaug, ya recordado páginas atrás. Por otra parte, los primeros años setenta parecían ser, en teoría, un buen caldo de cultivo para la proliferación de las ideas bioeconómicas de Georgescu-Roegen. La aparición de La ley de la entropía... coincidió con la polémica en torno a la escasez de recursos naturales y los límites al crecimiento que ya alcanzaban la dimensión que algunos datos anteriores parecían confirmar. Y también coincidió con la publicación de importantes textos de científicos muy vinculados al estudio de las relaciones entre economía y ecología: textos de Barry Commoner, Howard Odum o Edward Goldsmith que se convirtieron a partir de entonces en auténticos clásicos.

Sin embargo, se debe admitir que la discusión tuvo por centro neurálgico la publicación, un año después, en 1972, del informe al Club de Roma titulado The Limits to Growth: un análisis de las restricciones naturales a la expansión de la actividad económica que ya había sido planteada por otros autores, si bien no con la

amplitud de pronóstico de este “Informe Meadows”. A pesar de ello, y en contra de lo que cabría pensar, la aparición de los best-sellers ecologistas anteriores eclipsó, en cierta medida, una aportación como la de Georgescu-Roegen, que transcendía las polémicas más o menos coyunturales, proponiendo una revisión teórica mucho más de fondo. Máxime cuando las reflexiones del economista rumano arrancaban ya de mediados de los sesenta, tal y como se puede documentar en su larga introducción a Analytical Economics.

En todo caso, Georgescu-Roegen participó en aquellos debates de comienzos de los setenta desde varias perspectivas que unían lo teórico con la intervención práctica en un plano más amplio. En el primero de los casos terció en la polémica sobre los límites del crecimiento con un largo artículo titulado “Energía y mitos económicos”[17]. Y lo hizo eligiendo una vía singular: reafirmándose en sus postulados sobre el carácter entrópico del proceso económico, con una doble consecuencia. De un lado, criticando abiertamente la reacción de economistas convencionales como Solow, Nordhaus o Samuelson frente al trabajo del equipo Meadows y, de otra parte, aun mostrando simpatía por el empeño desarrollado en el informe Los límites al crecimiento, expresaba sus cautelas hacia algunas de sus tesis, como por ejemplo la que postulaba la necesidad del estado estacionario con crecimiento cero como salvación a los problemas ecológicos de la humanidad.

Esta manera de terciar en la discusión fue una manifestación más de la radical independencia de criterio que el economista rumano tenía y que, dado lo polarizado del debate, lo dejó en clara minoría y sin los apoyos ni de unos ni de otros. Es muy posible que esta postura tuviera bastante que ver en la dificultad para que el “mensaje” de Georgescu-Roegen fuera aceptado. Sobre todo por dos cosas: la incomodidad de los economistas ortodoxos con los argumentos de “uno de los suyos” que, a esas alturas, ya se había convertido en disidente. Pero también la incomodidad del equipo coordinado por Donella y Dennis Meadows, que se beneficiaba de las críticas de Georgescu-Roegen a los argumentos de los economistas convencionales, aunque teniendo que hacer frente a las objeciones que el economista rumano realizaba a sus recomendaciones.

Su peculiar posición en la polémica le llevó también a discutir tres

de los mitos sobre los que la economía convencional pretendía refutar la existencia de límites al crecimiento: la irrelevancia de los recursos naturales en las funciones agregadas de producción, el progreso tecnológico como solución a todos los problemas ambientales, y lo que él denominó el "dogma energético", esto es: la fe en que el único requisito para producir bienes y servicios es la energía, olvidando la función complementaria de los materiales y cómo estos también están sometidos a las limitaciones de la ley de la entropía. De hecho, un aspecto interesante y novedoso de la aportación de Georgecu-Roegen a los debates de los años setenta, que puede ayudar ahora en muchas de las discusiones sobre la transición energética y la expansión de las energías renovables, es, precisamente, recordar las enseñanzas que se derivan de su crítica frente a esos tres mitos. Son varios los textos incluidos en este volumen que dan cuenta de los argumentos de Georgescu-Roegen al respecto.

Simultáneamente a estas discusiones, más o menos teórico-académicas, en 1972 se celebró la primera de las "cumbres" de NN. UU. sobre medio ambiente y sociedad, la Cumbre de Estocolmo (aunque Georgescu-Roegen fue invitado y participó activamente en la "cumbre" paralela auspiciada por la asociación pacifista Dai Dong). Además de contribuir decisivamente a la elaboración del Manifiesto final, y consciente de las desigualdades en la distribución de los recursos a escala planetaria, aprovechó la reunión para realizar una propuesta radical: permitir la libertad mundial de circulación de personas, sin ningún tipo de restricción, visado o pasaporte. Aquella sugerencia del economista rumano contrasta agudamente con la actual prohibición y contención militar de las migraciones entre la población más pobre a escala mundial. No obstante, aprovechando el eco de la cumbre alternativa, Georgescu-Roegen intentó influir en la mentalidad y prácticas de sus compañeros de profesión al redactar —con la ayuda de otros dos notables economistas ecológicos como Herman E. Daly y Kenneth Boulding— el manifiesto titulado "Hacia una economía humana"[18] que, firmado por más de doscientos economistas, fue presentado y aprobado en 1973 en la reunión de la American Economic Association. Se trata de un bello texto donde se denuncia la responsabilidad de las economías de los países ricos y su crecimiento económico en el deterioro ambiental, al mismo tiempo

que se reclama un cambio de rumbo en las prácticas de los economistas que muchas veces sirven de coartada para mantener ese estado de cosas. Se pedía, en definitiva, una nueva visión de la economía global basada en la justicia, y la distribución equitativa de los recursos de la Tierra entre las generaciones presentes y futuras. Sobre todo, porque "los accidentes de la historia y la geografía no deben servir por más tiempo como argumentos para la injusticia".

5. Legado intelectual, perspectivas,

y la recepción de su obra en España

Joan Martínez Alier ha destacado en varias ocasiones, y con razón, que la bioeconomía de Georgescu-Roegen se ha acabado convirtiendo en lo que, desde hace tiempo, se conoce como economía ecológica. Y, efectivamente, ese cambio terminológico —que no de contenido— es el que ha permitido cultivar y desarrollar su legado a escala internacional con unos resultados muy positivos. Así lo demuestran tanto la actividad de la International Society for Ecological Economics como de su órgano de expresión, la ampliamente citada revista Ecological Economics, que se han convertido en el testimonio científico y académico de lo mucho que pueden dar de sí las ideas bioeconómicas de Georgescu-Roegen. A pesar de que las relaciones de Georgescu-Roegen con la naciente International Society for Ecological Economics fueron algo conflictivas[19], él ha sido uno de los autores más citados en sus páginas desde que la revista Ecological Economics comenzó su andadura en 1989. Allí escriben con asiduidad economistas ecológicos que piensan la economía y las relaciones entre ésta y la naturaleza con los mimbres dejados por Georgescu-Roegen, pero también se encuentran aportaciones que van más allá de lo que el economista rumano puso sobre el papel.

Este pensar en continuidad con Georgescu-Roegen ha rescatado casi todos los elementos críticos de sus contribuciones, recuperando sus

reflexiones metodológicas transdisciplinares, las sugerencias heterodoxas sobre las teorías convencionales de la producción y el consumo, y aquellas más vinculadas a la termodinámica, en concreto, a la ley de la entropía[20]. En esta senda se encuentran tanto la labor de reivindicación general de la obra de Georgescu-Roegen por parte de Herman E. Daly[21], Jacques Grinevald[22] y Óscar Carpintero[23], así como los trabajos de profundización en el enfoque del economista rumano realizados por Kozo Mayumi, Mario Giampietro y John Gowdy[24]. A esto habría que sumar también la meritoria labor de recuperación y conexión del enfoque bioeconómico de Georgescu-Roegen y las propuestas decrecentistas realizada por Mauro Bonaiuti[25].

Cabe añadir, además, que ese "pensar con Georgescu-Roegen y más alla de Georgescu-Roegen" no sólo ha afectado a los economistas ecológicos, sino que algunas de las aportaciones del economista rumano a la representación del proceso económico de producción (como el modelo flujos-fondos) han sido reivindicadas también por economistas pertenecientes a otras tradiciones heterodoxas del pensamiento económico[26].

Por lo que hace a la recepción de Georgescu-Roegen en España, ésta ha pasado por dos etapas con un curioso episodio previo. Este episodio tiene que ver con el fallido intento de Oreste Popescu por traducir al castellano el libro Analytical Economics. Popescu fue un gran historiador del pensamiento económico que ejerció su magisterio en Latinoamérica durante muchos años y que conocía muy bien la realidad española. Según consta en el archivo personal de Georgescu-Roegen depositado en la Universidad de Duke (Estados Unidos), Popescu intentó infructuosamente durante 1967 y 1968 que, primero Ariel, y después Oikos-Tau, tradujesen el libro, pero, lamentablemente, sus gestiones no llegaron a buen puerto.

Si dejamos este precedente al margen, la obra de Georgescu-Roegen tuvo dos momentos de atención en España. De un lado, en la década de los setenta y ochenta y, más tarde, durante la segunda mitad de los noventa. En el primer caso, el debate energético alrededor de las dos subidas de los precios de petróleo en 1973 y 1979, junto con la discusión en torno al célebre "Informe Meadows" sobre los límites del crecimiento, facilitaron la traducción castellana

de algunos artículos como “Energía y mitos económicos” (que publicó en Madrid la revista ICE, y en México El trimestre económico); o la versión española de “La teoría energética del valor económico: un sofisma económico particular” aparecida también en la revista mexicana. En ambos casos, Georgescu-Roegen ponía de relieve la importancia de tener presente la naturaleza entrópica del proceso económico y su estrecha relación con los fenómenos de la escasez y la contaminación, además de alertar sobre los peligros del análisis económico reduccionista (en este caso energético). También ayudó a su difusión la interesante entrevista que le realizó Jorge Wagensberg en 1979, y que fue publicada en la revista ALGO.

Pero, sin duda, los dos economistas que han hecho una mayor labor por acercar desde sus comienzos la obra de Georgescu-Roegen al público hispánico han sido Joan Martínez Alier y José Manuel Naredo, sobre todo desde finales de los ochenta. Martínez Alier no sólo tuvo una relación de amistad importante con el economista rumano, sino que fue el responsable de la única conferencia que Georgescu-Roegen impartió en España (durante la primavera de 1980 y en la Universidad Autónoma de Barcelona). Además, ha venido desarrollando un esfuerzo notable en la elaboración de varios homenajes internacionales a Georgescu-Roegen, tanto durante los últimos años de su vida como posteriormente. Por su parte, Naredo, por ejemplo, lo cita abundantemente en su obra, ya clásica, La economía en evolución, y contribuyó decisivamente para que en 1996 apareciera por fin la edición en castellano de la principal obra de Georgescu-Roegen (La ley de la entropía y el proceso económico) acabando así, veinticinco años después, con la anomalía de que dicho libro no estuviera aún vertido a este idioma.

6. Sobre esta antología

Dadas las condiciones de formato y extensión de la presente colección, se ha intentado que los artículos o capítulos de libro seleccionados no fueran excesivamente largos; optando, además, por escoger aquellos que previamente no hubieran sido vertidos a

nuestro idioma. Con esto se ha tratado de favorecer la presentación de textos de Georgescu-Roegen inéditos en el ámbito hispánico, a la vez que se ampliaba la colección de artículos y capítulos de libros del economista rumano disponibles en castellano. Salvo en un caso, la conjunción de ambos criterios nos ha llevado, sin embargo, a prescindir de algunos textos, tal vez muy característicos, pero que ya se encuentran traducidos a nuestro idioma. A cambio, hemos tratado de ampliar los contenidos "bioeconómicos" a disposición del lector o lectora, incorporando artículos que recogen varias de las polémicas que protagonizó el economista rumano en defensa de su enfoque, así como la presentación —por primera vez— de un texto genuinamente inédito de Georgescu-Roegen en el que se mencionan las relaciones entre bioeconomía y ética. Como recordábamos en la primera edición de este texto, ojalá que aquellos que se acerquen a la obra del economista rumano encuentren aquí motivos para continuar su lectura.

Georgescu-Roegen y su tiempo

1906 Nicola Georgescu (su nombre en rumano) nace en Costanza (Rumanía) el 4 de febrero en una familia modesta, de madre institutriz y padre capitán del Ejército suspendido del servicio por denunciar las ilegalidades de sus superiores.

1912-1916 Cursa estudios de educación primaria con Gherge Radolescu, profesor de matemáticas de gran influencia y estímulo para Georgescu-Roegen.

1914 Inicio de la Primera Guerra Mundial. Fallecimiento del padre de Georgescu-Roegen.

1916 Rumanía entra en guerra después de dos años de neutralidad. Fallecimiento de Gherge Radolescu en la contienda.

Obtiene una beca para estudiar en el instituto militar Liceé Manastirea Dealu, "donde vestiría de uniforme y estaría sometido a la disciplina militar", pero sólo comienza los estudios al finalizar la guerra.

1923 Termina sus estudios en el Liceé Manastirea Dealu dos años antes de lo esperado siendo el estudiante más brillante de la clase.

1923-1926 Consigue una beca para estudiar en la Universidad de Bucarest la licenciatura en Matemáticas, obteniendo el primer puesto en la graduación. Allí conoce a su mujer, Otilia Busuioc, también matemática, que le acompañará durante el resto de su vida.

1927 Obtiene una beca de ampliación de estudios para realizar el doctorado en París, donde coincide con matemáticos y estadísticos tan importantes como Emile Borel y Georges Darmois, y economistas como Albert Aftalion, Francois Divisia y Jaques Rueff.

1929 Inicio de la Gran Depresión, que tiene como detonante el

crack bursátil en Estados Unidos el 24 de octubre de ese año.

1930 Con 24 años, Georgescu-Roegen obtiene el doctorado con honores en París, presentando la tesis titulada “El problema de la búsqueda de los componentes cíclicos de un fenómeno”. Se publicó como número monográfico de la prestigiosa revista Journal de la Societé de Statistique de París.

1931-1933 También becado, realiza una estancia postdoctoral en Londres bajo la supervisión de Karl Pearson, cuya obra The Grammar of Sicence tendrá una honda influencia en el pensamiento de Georgescu-Roegen.

1934-1936 Viaje y estancia en Estados Unidos becado por la Fundación Rockefeller para realizar una colaboración con el Harvard Economic Barometer, encargado de realizar predicciones sobre la evolución de las principales variables económicas. El objetivo era poder aplicar el método desarrollado en su tesis doctoral. Lamentablemente, a su llegada, el Harvard Economic Barometer había cerrado ya sus puertas.

Conoce al economista Joseph A. Schumpeter y entabla amistad con varios de los que serían algunos de los grandes economistas del siglo XX (varios becados como él): Oskar Lange, Fritz Machlup, Wassily Leontief, Paul Samuelson, Paul Sweezy, etc.

1935-1936 Publicación de tres artículos en Quaterly Journal of Economics y uno en Review of Economic Studies con importantes contribuciones sobre la teoría del consumo y la producción.

1937-1948 Decide volverse a Rumanía para ayudar a mejorar su país (a pesar de tener una oferta para quedarse en Harvard con Schumpeter). Etapa de su “exilio interior”. Realiza trabajos diversos para la administración pública y actividades políticas. Milita en el Partido Nacional Campesino, primero de manera clandestina y luego formando parte de su Consejo de Dirección.

1938-1944 Sucesión de tres dictaduras en Rumanía coincidiendo casi con la Segunda Guerra Mundial. Dictadura del rey Carlos II en Rumanía (1938-1940). Se ilegaliza el Partido Nacional Campesino. Dictadura de Mihai Carol (1940-1941). Dictadura de Ion Antonescu

(1941-1944).

1939-1945 Segunda Guerra Mundial. Conferencia de Bretton Woods (1944) para acordar la arquitectura económica internacional para después de la guerra.

1948 Declaración Universal de los Derechos Humanos.

Llega a Estados Unidos a través de Turquía e Italia tras huir de Rumanía por amenaza de muerte del Gobierno de Petru Groza. Comienza a trabajar en la Universidad de Harvard con un contrato temporal.

1949 Acepta la oferta de un puesto fijo de profesor de Economía en la Universidad de Vanderbilt (Tennessee), donde desarrollará su labor ininterrumpidamente hasta su jubilación en 1976.

Participa en la conferencia de la Cowles Commission sobre Activity Analysis of Production and Allocation, con tres importantes contribuciones.

1955 Celebración del simposio titulado “Man’s Role in Changing the Face of the Earth” en la Universidad de Princeton. Primera reflexión importante y multidisciplinar sobre el impacto de la especie humana sobre la Tierra.

1960 Georgescu-Roegen publica su artículo “Economic theory and agrarian economics”, donde se critican las deficiencias de la teoría económica convencional en el análisis de las economías campesinas sobrepobladas.

1962 Rachel Carson publica el libro Silent Spring (La primavera silenciosa) y Murray Bookchin Our Synthetic Environment (Nuestro medio ambiente sintético), que pueden servir como hitos fundacionales del moderno movimiento ecologista.

1966 Georgescu-Roegen publica su libro Analytical Economics, que recopila artículos escritos hasta esa fecha, pero con una larga introducción redactada en 1964 que anticipa el grueso de las preocupaciones mostradas en The Entropy Law and the Economic Process.

Publicación del importante artículo de Kenneth E. Boulding "The economics of the coming spaceship Earth", pionero para lo que más adelante se llamará economía ecológica.

1968 Revueltas estudiantiles de Mayo del 68 en París y Primavera de Praga en Checoslovaquia.

1969 Georgescu-Roegen publica su artículo "The institutional aspects of peasant communities: an analytical view", donde se critica el enfoque económico convencional por no tener en cuenta la realidad institucional de las economías campesinas.

1971 Publicación del libro fundamental de Georgescu-Roegen: The Entropy Law and the Economic Process, donde se establecen los fundamentos epistemológicos de las relaciones entre economía, termodinámica y biología.

Barry Commoner publica The Closing Circle (El círculo que se Cierra).

Estados Unidos declara la no convertibilidad del dólar en oro, lo que provoca la crisis y derrumbe del sistema monetario internacional diseñado en Bretton Woods.

1972 Celebración en Estocolmo de la Cumbre sobre el Medio Humano (posteriormente conocida como la primera "cumbre de la Tierra") organizada por Naciones Unidas.

Georgescu-Roegen participa activamente en la cumbre paralela auspiciada por la asociación pacifista Dai Dong.

Publicación de dos textos clásicos para la configuración de la conciencia ambiental en el siglo XX: Los límites del crecimiento (primer Informe al Club de Roma) y El manifiesto por la supervivencia (E. Goldsmith).

Georgescu-Roegen publica sus artículos "Energy and economic myths" y "The entropy law and the economic problem", donde denuncia las falacias del crecimiento económico y la necesidad de considerar el proceso económico en términos entrópicos.

1973 Primera gran subida internacional de los precios del petróleo.

Herman E. Daly publica Toward a Steady-State Economy (Hacia una

economía de estado estacionario).

Publicación del manifiesto titulado "Hacia una economía humana" promovido por Georgescu-Roeguen, Herman E. Daly y Kenneth E. Boulding, firmado por más de doscientos economistas, y presentado y aprobado en 1973 en la reunión de la American Economic Association.

1976 Georgescu-Roegen publica su libro Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Economics, que recopila varios artículos sobre economía de los recursos naturales, economía institucional, epistemología y metodología.

1977 Georgescu-Roegen publica varios artículos importantes destacando la naturaleza entrópica del proceso económico, las insuficiencias de las propuestas de estado estacionario, y la importancia, no sólo de la energía, sino también de los materiales: "Matter matters, too", "The steady-state and ecological salvation: A thermodynamic analysis", y "Bioeconomics: A new look at the nature of economic activity".

1979 Segunda gran subida internacional de los precios del petróleo.

Margaret Thatcher gana las elecciones en el Reino Unido.

1983 Georgescu-Roegen publica una larga introducción sobre la obra y la vida de uno de los pioneros de la economía marginalista: "Hermann Heinrich Gossen: His life and work in historical perspective". Se trata de la presentación a la traducción inglesa de la obra de Gossen: The Laws of Human Relations and the Rules of Human Action Derived Therefrom.

1985 Mijaíl Gorbachov accede a la Secretaría General del Partido Comunista de la Unión Soviética.

1987 Se publica el "Informe Brundtland" (Nuestro futuro común) de la Comisión de Naciones Unidas para el Desarrollo y el Medio Ambiente, que difunde internacionalmente el concepto de "desarrollo sostenible".

Georgescu-Roegen redacta la entrada "Entropy" para el prestigioso

diccionario de economía The New Palgrave Dictionary.

1989 Cae el muro de Berlín.

Se funda la International Society for Ecological Economics (ISEE) y echa a andar la revista Ecological Economics. Georgescu-Roegen es invitado a participar en ambas iniciativas pero declina el ofrecimiento.

1991 Se disuelve la URSS y se produce la reunificación alemana (absorción de la RDA por la RFA).

Se crea la European Association for Bioeconomics Studies (EABS), que toma como referente fundamental la obra de Georgescu-Roegen y lo nombra presidente honorífico. Celebra su primera conferencia internacional en Roma. Las actas de la conferencia se publicaron con el título Entropy and Bioeconomics.

1994 Segunda conferencia internacional de la EABS en Palma de Mallorca bajo el título Implications and Applications of Bioeconomics a la que, por desgracia, Georgescu-Roegen no puede acudir por motivos de salud.

Nicholas Georgescu-Roegen fallece el 30 de octubre tras una larga enfermedad.

HACIA UNA ECONOMÍA HUMANA*[27]

La evolución de nuestra morada en la Tierra se aproxima a una crisis de cuya resolución puede depender la supervivencia de la humanidad; una crisis cuyas dimensiones se muestran en las actuales tasas de expansión demográfica, el galopante crecimiento industrial y la contaminación ambiental, con su séquito de hambre, guerra y colapso biológico.

Esta evolución, sin embargo, no ha estado determinada únicamente por las inexorables leyes de la naturaleza, sino por la voluntad humana que actúa dentro de esa naturaleza. El ser humano ha configurado su destino a través de una historia de decisiones, de las cuales es responsable, pero puede cambiar el curso de ese destino a través de nuevas decisiones conscientes, de un nuevo impulso de la voluntad. Para empezar, es necesaria una nueva visión.

La descripción y el análisis del proceso económico tal y como lo observamos en realidad es algo fundamental para desarrollar nuestra función como economistas. Crecientemente, a lo largo de los últimos doscientos años, los economistas han sido requeridos para analizar, teorizar, describir, y medir la esfera económica —y han asumido esa obligación—; pero también lo han sido para aconsejar, planificar, y tomar parte activamente en la dirección de esos asuntos. El poder de los economistas, y con ello su responsabilidad, se ha convertido, en efecto, en algo muy relevante.

En el pasado, la producción ha sido contemplada generalmente como un beneficio. Pero la producción también conlleva costes que sólo recientemente se han convertido en algo evidente. Esta producción agota necesariamente nuestro stock finito de materias primas y energía, a la vez que inunda la capacidad, igualmente finita, de nuestro ecosistema con los residuos generados en sus procesos. La medida que utiliza el economista tradicional en relación con la salud y el bienestar social y nacional se ha incrementado. Pero el continuo crecimiento industrial en áreas ya

altamente industrializadas es sólo un valor a corto plazo; la producción actual continúa creciendo a expensas de la producción futura, y a expensas también del delicado y eternamente amenazado medio ambiente.

La realidad de que nuestro sistema es finito, y que ningún gasto de energía es gratuito, nos enfrenta con una decisión moral en cada fase del proceso económico: en la planificación, en el desarrollo y en la producción. ¿Qué necesitamos hacer? ¿Cuáles son los verdaderos costes de producción a largo plazo, y a quiénes se les reclamará pagarlos? ¿Cuál es verdaderamente el interés del ser humano, no solamente en la actualidad, sino como una especie que sobrevive? Incluso la formulación clara de las distintas elecciones desde la perspectiva del economista nos pone ante una tarea que es ética, no puramente analítica, y por tanto los economistas debemos aceptar esas implicaciones éticas de nuestro trabajo.

Queremos hacer un llamamiento a nuestros compañeros economistas para que acepten su papel en la gestión de nuestra morada terrestre, a que se unan a los verdaderos esfuerzos de otros científicos y planificadores, de otros hombres y mujeres de todas las áreas de conocimiento, y se esfuercen por asegurar la supervivencia de la humanidad. Durante el último siglo, la ciencia económica, al igual que otros campos de investigación que buscan la precisión y la objetividad, ha tendido crecientemente a aislar su dominio del resto de los saberes. Pero el tiempo en que los economistas pudieron trabajar provechosamente de manera aislada ya ha pasado. Es necesaria una nueva economía cuya finalidad sea la administración de los recursos y lograr un control racional sobre el desarrollo y las aplicaciones tecnológicas de modo que sirvan a las necesidades humanas reales, más que a la expansión de los beneficios, la guerra o el prestigio nacional. Es necesaria una economía de la supervivencia, o más aún, de la esperanza —una teoría y una visión de una economía global basada en la justicia, que haga posible la distribución equitativa de la riqueza de la Tierra entre la población, tanto actual como futura—. Está claro que no podemos seguir considerando útil la separación de la economía nacional de sus relaciones con el sistema global más amplio. Pero los economistas pueden hacer algo más que medir y describir las complejas relaciones entre entidades económicas; podemos trabajar

activamente por un nuevo orden de prioridades que trascienda los estrechos intereses de la soberanía nacional y que, en vez de a ellos, sirva a los intereses de la comunidad mundial. Debemos reemplazar el ideal del crecimiento, que ha servido como sustitutivo de la distribución equitativa de la riqueza, por una visión más humana en la que la producción y el consumo estén subordinadas a las metas de la supervivencia y la justicia.

Actualmente, una minoría de la población de la Tierra disfruta de una exorbitante parte de los recursos y la capacidad industrial. Estas economías industriales, tanto capitalistas como socialistas, deben encontrar caminos para cooperar con los países en desarrollo y corregir ese desequilibrio, sin perseguir una competencia ideológica o imperialista, y sin explotar a la población a la que se pretende ayudar. Para conseguir una distribución equitativa de la riqueza a lo largo del mundo, la población de los países industrializados debe renunciar a lo que ahora parece un derecho ilimitado a consumir cualquier recurso que esté a su disposición, y como economistas debemos jugar un papel en reformar los valores humanos hacia ese fin. Los accidentes de la historia y la geografía no deben servir por más tiempo como argumentos para la injusticia.

La tarea para los economistas es, por tanto, extremadamente novedosa y difícil. Ahora mucha gente mira los datos disponibles — las tendencias en el crecimiento de la población, de la contaminación, del agotamiento de recursos, y de la agitación social — y pierde la esperanza. Dicen tristemente que hemos pasado el punto sin retorno hacia nuestra cita con el desastre; que no se puede hacer nada. Pero esta desesperación es una postura que debemos rechazar. El imperativo moral para nosotros es crear una nueva visión, construir un camino para sobrevivir a través de un territorio adverso donde no existen caminos ya trazados. En el momento actual, el ser humano posee la riqueza y la tecnología no sólo para salvarse a sí mismo durante un largo futuro, sino para construir para él mismo, y para todos sus descendientes, un mundo en el que sea posible vivir con dignidad, esperanza y confort; pero debe decidir hacerlo. Realizamos un llamamiento a los economistas a que colaboren diseñando la nueva visión que permita al ser humano utilizar su riqueza para sus propios intereses, aunque se discrepe, tal vez, sobre los detalles del método y la política, pero

estando enérgicamente de acuerdo en las metas de la supervivencia y la justicia.

LA LEY DE LA ENTROPÍA Y EL PROBLEMA ECONÓMICO*

I

Un hecho curioso en la historia del pensamiento económico es que años después de que el dogma mecanicista perdiese la supremacía en la física y su predominio en el mundo filosófico, los fundadores de la escuela neoclásica se propusieran erigir una ciencia económica inspirada en el patrón de la mecánica, definida por Jevons como "la mecánica de la utilidad y el interés propio"[28]. Y aunque desde entonces la economía ha conseguido grandes avances, nada ha logrado desviar el pensamiento económico de la epistemología mecanicista propia de los fundadores de la economía convencional. Una prueba obvia de ello es la representación usual, en los libros de texto, del proceso económico a través de un diagrama circular, de un movimiento de péndulo entre la producción y el consumo dentro de un sistema completamente cerrado[29]. La situación no es diferente cuando se trata de las piezas analíticas que adornan la literatura económica convencional; éstas también reducen el proceso económico a un modelo similar mecánico y autosostenido. El hecho patente de que entre el proceso mecánico y el medio ambiente material existe una influencia mutua y continua, que es precisamente la que hace la historia, no parece afectar al economista convencional. Y lo mismo se aplica a los economistas marxistas, que juran por el dogma de Marx que todo lo que la naturaleza ofrece al ser humano es un don espontáneo[30]. También en el famoso diagrama marxista de la reproducción, el proceso económico se representa como un fenómeno completamente circular y autosostenido[31].

Los autores anteriores, sin embargo, apuntaban hacia otra dirección, tal como lo hizo sir William Petty al sostener que el trabajo es el padre y la naturaleza la madre de la riqueza[32]. Toda la historia económica de la humanidad prueba, sin duda, que la

naturaleza juega también un importante papel en el proceso económico, así como en la formación del valor económico. Creo que ya es hora de que aceptemos este hecho y que consideremos sus consecuencias para el problema económico de la humanidad. Ya que, tal como trataré de mostrar en este texto, algunas de estas consecuencias tienen una importancia excepcional para comprender la naturaleza y la evolución de la economía de la humanidad.

II

Algunos economistas han aludido al hecho de que el ser humano no puede crear ni destruir materia o energía[33] —verdad que se desprende del principio de conservación de la materia-energía, o primera ley de la termodinámica—. No obstante, a nadie pareció extrañarle la pregunta —tan enigmática a la luz de esta ley—: ¿qué es, entonces, lo que hace el proceso económico? Todo lo que logramos encontrar en la literatura fundamental es alguna observación ocasional sobre el hecho de que lo que el ser humano puede producir es únicamente utilidad, observación que, de paso, acentúa el enigma. ¿Cómo es posible que el ser humano produzca algo material ya que no puede producir ni materia ni energía?

Para responder a esta pregunta debemos considerar el proceso económico como un todo y observarlo desde el punto de vista puramente físico. Lo primero que habremos de notar es que este proceso es un proceso parcial que, como todos los procesos parciales, está circunscrito por un límite a través del cual se intercambian la materia y la energía con el resto del universo material[34]. La respuesta a la pregunta sobre lo que hace este proceso material es sencilla: no produce ni consume materia-energía; sólo absorbe materia-energía y la expulsa continuamente. Esto es lo que la física pura nos enseña. Sin embargo, la economía —digámoslo alto y claro— no es ni física pura ni física en cualquier otra forma. Podemos estar seguros de que, aun el partidario más feroz de la postura consistente en que los recursos naturales no tienen nada que ver con el valor, admitirá finalmente que hay una

diferencia entre lo que entra al proceso económico y lo que sale de él. A decir verdad, esta diferencia sólo puede ser cualitativa.

Un economista no ortodoxo —como yo— diría que lo que entra al proceso económico representa recursos naturales valiosos y que lo que sale es un residuo sin valor. Pero esta diferencia cualitativa es confirmada, aunque en diferentes términos, por una rama de la física especial (y peculiar), conocida como termodinámica. Desde el punto de vista de la termodinámica, la materia-energía entra al proceso económico en un estado de baja entropía y sale de éste en un estado de alta entropía[35].

No es fácil explicar en detalle lo que significa la entropía. El concepto es tan complicado que, según una autoridad en termodinámica, "ni los físicos lo entienden fácilmente"[36]. Y, para empeorar el asunto, no solamente para el lego sino para todos, el término circula ahora con varios significados y no todos ellos asociados a una coordenada física[37]. La edición de 1965 del Webster's Collegiate Dictionary registra tres entradas bajo el término entropía. Además, la definición de entropía referente a su significado aplicable al proceso económico más que aclarar al lector lo confunde más: "Una medida de energía no disponible en un sistema termodinámico cerrado, tan relacionada con el estado del sistema, que un cambio en la medida varía con el cambio en la relación del incremento del calor tomado en la temperatura absoluta en la cual éste se absorbe". Pero (como si quisieran probar que no todo progreso es a mejor) algunas ediciones más antiguas proporcionan una definición más comprensible. "Una medida de la energía no disponible en un sistema termodinámico", tal como se lee en la edición de 1948, definición que no puede satisfacer al especialista, pero que sirve para propósitos más generales. Explicar (otra vez en términos generales) lo que significa energía no disponible resulta ahora relativamente sencillo.

La energía existe en dos estados cualitativos: energía disponible o libre, sobre la que el ser humano tiene un dominio casi completo, y energía no disponible o ligada, que el ser humano no puede usar de ninguna manera. La energía química contenida en un pedazo de carbón es energía libre, puesto que el ser humano puede convertirla en calor o, si así lo desea, en trabajo mecánico. Pero la fantástica

cantidad de energía en forma de calor contenida, por ejemplo, en los mares, es energía ligada. Los barcos navegan encima de este recipiente lleno de energía, pero para hacerlo necesitan de la energía libre de algún combustible o del propio viento.

Cuando un pedazo de carbón se quema, su energía química ni disminuye ni aumenta. Pero la energía libre inicial se ha disipado tanto en forma de calor, humo y cenizas, que el ser humano ya no puede utilizarla. Se ha degradado al estado de energía no disponible o ligada. Energía libre significa una energía que muestra un nivel diferencial, y se puede ejemplificar de la manera más sencilla a través de la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de una caldera. La energía ligada es, por el contrario, una energía disipada caóticamente. Esta diferencia puede expresarse de otra manera. La energía libre implica alguna estructura ordenada que se puede comparar con la de una tienda en la cual toda la carne se encuentra en un mostrador, las verduras, en otro, etcétera. La energía ligada es la energía disipada en desorden, como el estado en que quedaría la misma tienda después de ser azotada por un ciclón. Por esto, la entropía se define como una medida de desorden. Lo que concuerda con el hecho de que un hilo de cobre represente una entropía más baja que el mineral de cobre a partir de cual se produjo.

La diferenciación entre la energía libre y la ligada es, por supuesto, antropomórfica. Pero esto no debe preocupar al estudioso de la humanidad, ni a quien estudia la materia en su forma simple. Cada elemento por el cual el ser humano busca ponerse en contacto mental con la realidad debe ser antropomórfico. Pero sucede que el ejemplo de la termodinámica es más sorprendente. El caso es que fue la diferenciación entre las cosas que tienen valor económico y los residuos lo que impulsó la diferenciación termodinámica y no a la inversa. En efecto, la disciplina de la termodinámica nació de una memoria en la que el ingeniero francés Sadi Carnot (1824) estudió por primera vez la economía de las máquinas térmicas. Así pues, la termodinámica empezó como una física del valor económico y ha permanecido igual a pesar de las numerosas contribuciones posteriores de naturaleza más abstracta.

III

Gracias a la monografía de Sadi Carnot, el hecho elemental de que el calor se mueva por sí mismo desde el cuerpo más caliente hacia el cuerpo más frío adquirió su sitio entre las verdades reconocidas por la física. De más importancia fue el posterior reconocimiento de una verdad adicional: una vez que el calor de un sistema cerrado se ha esparcido de tal manera que la temperatura se ha vuelto uniforme a través de todo el sistema, el movimiento del calor no puede invertirse sin intervención exterior. Los cubos de hielo en un vaso de agua, una vez derretidos, no volverán a solidificarse por sí mismos. En general, la energía calorífica libre de un sistema cerrado se degrada continua e irrevocablemente en energía disipada. La extensión de esta propiedad de la energía del calor a las demás clases de energía condujo a la segunda ley de la termodinámica, conocida como ley de la entropía. Esta ley establece que la entropía (es decir, la cantidad de energía ligada) de un sistema cerrado aumenta continuamente, o que el orden de tal sistema se convierte constantemente en desorden.

La referencia a un sistema cerrado es crucial. Formémonos una imagen mental de un sistema cerrado: una habitación con un hornillo eléctrico y una cubeta con agua que acaba de hervir. En primer lugar, lo que la ley de la entropía nos dice es que el calor del agua hervida se disipará continuamente dentro del sistema; y, finalmente, que el sistema adquirirá el equilibrio termodinámico, esto es, un estado en que la temperatura es uniforme en todas partes (y toda la energía está ligada). Esto se aplica a toda clase de energía en un sistema cerrado. Por ejemplo, la energía química libre de un pedazo de carbón se degradará finalmente a una energía ligada aunque el carbón se deje bajo tierra. La energía libre hará esto en cualquier caso.

La ley también nos dice que, una vez logrado el equilibrio termodinámico, el agua no empezará a hervir por sí misma[38]. Pero, como se sabe, podemos hacerla hervir de nuevo si se enciende el hornillo. Sin embargo, esto no significa que hayamos vencido a la ley de la entropía. Si la entropía de la habitación ha disminuido

como resultado de la diferencia de temperatura creada al hervir el agua, se debe únicamente a que se introdujo del exterior un poco de baja entropía (energía libre) dentro del sistema. Y, si incluimos la central eléctrica en el sistema, la entropía de este nuevo sistema debe haber aumentado, tal como lo indica la ley de la entropía. Lo que significa que la disminución de la entropía de la habitación se ha obtenido únicamente a costa de un mayor incremento de la entropía en otro sitio.

Algunos autores, impresionados por el hecho de que los organismos vivos permanecen casi inalterados durante cortos periodos de tiempo, han expuesto la idea de que la vida escapa a la ley de la entropía. Ahora bien, la vida puede tener propiedades que no se explican por las leyes naturales, pero la sola idea de que se pueda violar alguna ley de la materia (lo que es una cosa completamente diferente) resulta una tontería. Lo cierto es que todo organismo vivo sólo pugna por mantener constante su propia entropía. En la medida en que lo logre, lo hará absorbiendo baja entropía del ambiente para compensar el incremento de entropía a la que el organismo está sujeto constantemente, como también lo está toda estructura material. Pero la entropía de todo el sistema —consistente en la del organismo y la de su medio ambiente— debe aumentar. En realidad, la entropía de un sistema debe aumentar más rápidamente cuando la vida está presente que cuando no lo está. El hecho de que cualquier organismo vivo luche contra la degradación entrópica de su propia estructura material puede ser una propiedad característica de la vida, no explicable por las leyes materiales, pero que no constituye una violación de estas leyes.

Prácticamente todos los organismos viven de la baja entropía en la forma en que ésta se encuentra en el ambiente más próximo. El ser humano es la excepción más notable: cocina la mayor parte de sus alimentos y transforma también los recursos naturales en trabajo mecánico o en diferentes objetos de utilidad. De nuevo, debemos tener cuidado de que no nos engañen. La entropía del metal de cobre es más baja que la entropía del mineral del cual se refinó, pero esto no significa que la actividad económica del ser humano eluda la ley de la entropía. El refinamiento del mineral provoca un incremento en la entropía del entorno mayor que la reducción de entropía ocurrida en el metal. Los economistas son muy dados a

decir que no se puede obtener algo sin pagar por ello. La ley de la entropía nos enseña que la regla de la vida biológica y, en el caso del ser humano, su continuación económica, es mucho más dura. En términos de la entropía, el coste de cualquier empresa biológica o económica siempre es mayor que el producto obtenido. En términos de entropía cualquier actividad de este tipo conduce necesariamente a un déficit.

IV

La afirmación hecha anteriormente, consistente en que, desde un punto de vista físico, el proceso económico sólo transforma los recursos naturales valiosos (baja entropía) en residuos (alta entropía), se justifica plenamente. Pero aún nos acompaña el enigma de saber por qué este proceso debe continuar. Seguirá siendo un enigma mientras no nos demos cuenta de que el verdadero producto del proceso económico no es un flujo material de desechos, sino un flujo inmaterial: el disfrute de la vida. Si no reconocemos la existencia de este flujo inmaterial, no nos hallamos en el mundo de lo económico. Tampoco tendremos una idea exacta del proceso económico si ignoramos el hecho de que este flujo —que, como un sentimiento entrópico, debe caracterizar la vida a cualquier nivel— existe solamente mientras pueda alimentarse a sí mismo de la baja entropía del entorno. Y si damos un paso adelante, descubriremos que todo objeto con valor económico —ya sea una fruta recién tomada del árbol, un artículo de ropa, un mueble, etcétera— tiene una estructura altamente ordenada y, por lo tanto, una baja entropía[39].

Varias cosas pueden aprenderse de este análisis. La primera es que la lucha económica del ser humano está centrada en la baja entropía del medio ambiente. La segunda consiste en que la baja entropía del entorno es escasa en un sentido diferente al utilizado por Ricardo en relación con la tierra. Tanto la tierra de Ricardo como los depósitos de carbón se consiguen en cantidades limitadas. La diferencia consiste en que un trozo de carbón se puede usar

solamente una vez. Y, de hecho, la ley de la entropía es la razón por la cual un motor (incluso un organismo biológico) se desgasta finalmente y debe ser remplazado por uno nuevo, lo que significa una extracción adicional de baja entropía del medio ambiente.

El uso continuo de los recursos naturales por el ser humano no es una actividad que transcurra sin hacer historia. Por el contrario, a largo plazo, es el elemento más importante para el destino del ser humano. Fue a causa de la irrevocabilidad de la degradación entrópica de materia-energía, que, por ejemplo, a principios del primer milenio de nuestra era, los pueblos procedentes de las estepas asiáticas, cuya economía se basaba en la crianza de ovejas, empezaron su gran migración por todo el continente europeo. El mismo elemento —la presión sobre los recursos naturales— influyó sin duda en otras migraciones, incluso en la de Europa hacia el Nuevo Mundo. Los fantásticos esfuerzos realizados para llegar a la Luna pueden reflejar también alguna esperanza, vagamente percibida, de lograr acceso a recursos adicionales de baja entropía. Debido a la escasez especial de baja entropía en el ambiente, el ser humano también ha buscado, desde los albores de la historia, inventar los medios para cribar mejor la baja entropía. En la mayor parte de las invenciones realizadas por el ser humano (aunque no en todas) se puede notar una mejoría progresiva en la economía de baja entropía.

Por tanto, nada podría estar más lejos de la verdad que la idea de que el proceso económico es un proceso circular aislado—tal como lo representan los análisis marxistas y los convencionales—. El proceso económico está anclado sólidamente en una base material que a su vez está sujeta a restricciones determinadas. A causa de estas restricciones el proceso económico tiene una evolución unidireccional irrevocable. En el mundo económico, sólo el dinero circula de un lado a otro entre los distintos sectores económicos (aunque, a decir verdad, también los lingotes se van gastando y su stock debe reponerse constantemente a partir de los depósitos minerales). Retrospectivamente, parece que los economistas de las dos escuelas han sucumbido al peor fetichismo económico, el fetichismo del dinero.

V

Los problemas económicos cotidianos han influido siempre en el pensamiento económico, y éste ha reflejado —con algún retraso— las tendencias ideológicas de las ciencias naturales. Una demostración notoria de esta correlación es el hecho de que, cuando los economistas empezaron a pasar por alto el medio ambiente natural al representar el proceso económico, este hecho reflejó un momento crucial en el espíritu del mundo intelectual. Los logros sin precedentes de la Revolución Industrial dejaron a todos tan maravillados con lo que el ser humano podía hacer con la ayuda de las máquinas que la atención general se centró en la fábrica. El alud de espectaculares descubrimientos científicos desencadenado por los nuevos dispositivos técnicos reforzó este asombro general por el poder de la tecnología. También indujo a los estudiosos a sobreestimar y, finalmente, a exagerar las virtudes y poderes de la ciencia. Naturalmente, desde ese pedestal no se podía concebir que hubiese ningún obstáculo verdadero inherente a la condición humana.

La verdad escueta es diferente. Todavía la duración de la vida de la especie humana representa únicamente un parpadeo si se la compara con la de una galaxia. Así pues, a pesar del progreso en los viajes espaciales, la humanidad permanecerá recluida en una partícula del espacio. La naturaleza biológica del ser humano establece otras limitaciones con respecto a lo que éste puede hacer. Una temperatura muy alta o muy baja es incompatible con su existencia. Lo mismo sucede con muchas radiaciones. No es sólo el hecho de que no pueda alcanzar las estrellas, sino también el de que no pueda llegar a una sola partícula elemental o a un átomo individual.

Precisamente porque el ser humano ha sentido, aunque sea ingenuamente, que su vida depende de la escasa e irrecuperable baja entropía, ha alimentado la esperanza de que alguna vez ha de descubrir una energía que se perpetúe a sí misma. El descubrimiento de la electricidad indujo a muchos a creer que la esperanza se había realizado. A partir del extraño matrimonio de la

termodinámica con la mecánica, algunos empezaron a pensar seriamente en la forma de liberar la energía ligada[40]. El descubrimiento de la energía atómica extendió otra ola de confiadas esperanzas en el sentido de que, esta vez sí, se había logrado obtener una fuente de energía que se perpetuara a sí misma. Pero la escasez de electricidad que asola a Nueva York, y que gradualmente se va extendiendo a otras ciudades, debería ser suficiente para sacarnos de nuestra euforia. Tanto los científicos nucleares como los operadores de las centrales aseguran que todo se limita a un problema de costes, pero, en la perspectiva del presente artículo, esto significa un problema de equilibrio en términos de entropía.

Tenemos, pues, a los científicos naturales predicando que la ciencia puede eliminar todas las limitaciones sufridas por el ser humano, y a los economistas que hacen lo mismo al no relacionar el análisis del proceso económico con las limitaciones del medio ambiente material del ser humano; luego no es de extrañar que nadie se haya dado cuenta de que no podemos producir "mejores y más grandes" refrigeradores, automóviles o aviones de propulsión a chorro sin producir a la vez "mejores y mayores" residuos. Así pues, cuando todos (en los países con una producción industrial "mejor y mayor") se toparon con la contaminación, tanto los científicos como los economistas fueron cogidos por sorpresa. Pero aún ahora parece que nadie ve que la causa de todo esto es que no hemos logrado reconocer la naturaleza entrópica del proceso económico. Una prueba convincente de ello es que muchos expertos en contaminación tratan ahora, por un lado, de vendernos la idea de que pueden crearse máquinas y reacciones químicas que no produzcan residuos y, por otro lado, la salvación a través del reciclaje perpetuo de los residuos. Cuando menos en principio, no se puede negar que también podemos reciclar el oro disipado en la arena de los mares al igual que podemos reciclar el agua hirviendo del ejemplo anterior. Pero en ambos casos tenemos que usar una cantidad adicional de baja entropía mucho mayor que la disminución en la entropía de lo que se está reciclando. No existe un reciclaje gratis, como tampoco existe una industria sin residuos.

VI

El planeta al que está ligada la especie humana flota, por decirlo así, dentro del depósito cósmico de energía libre, que puede ser incluso infinito. Pero, a causa de las razones mencionadas en la sección anterior, el ser humano no puede tener acceso a toda esta gran cantidad de energía libre, ni a todas sus formas posibles. Por ejemplo, el ser humano no puede utilizar directamente la inmensa energía termonuclear del Sol. El impedimento más importante (también válido para el uso industrial de la "bomba de hidrógeno") es que ningún recipiente material puede resistir la temperatura de las reacciones termonucleares masivas. Estas reacciones sólo pueden ocurrir al aire libre.

La energía libre a la que puede tener acceso el ser humano proviene de dos fuentes distintas. La primera consiste en un stock, es decir, en las existencias de energía libre de los depósitos minerales ubicados en las entrañas de la tierra. La segunda es un flujo, el flujo de la radiación solar interceptada por la Tierra. Deben remarcarse varias diferencias entre estas dos fuentes. El ser humano tiene un dominio casi completo de la dotación terrestre; y resulta imaginable que pudiésemos utilizarla toda en el curso de un solo año. Pero, para cualquier finalidad práctica, el ser humano no tiene control sobre el flujo de la radiación solar. Tampoco puede usar hoy el flujo del futuro. Otra asimetría que existe entre estas dos fuentes corresponde a sus papeles específicos. Sólo la fuente terrestre nos proporciona los materiales de baja entropía con los que fabricamos nuestros utensilios más importantes. Por otro lado, la radiación solar es la fuente primaria de toda la vida en la Tierra, que empieza con la fotosíntesis clorofílica. Finalmente, el stock terrestre es una fuente de energía despreciable si se lo compara con el Sol. Muy probablemente, la vida activa del Sol —durante la cual la Tierra recibirá un flujo de energía solar de importante intensidad— durará otros cinco mil millones de años[41]. Pero, por increíble que parezca, todo el stock terrestre apenas produciría el equivalente a unos cuantos días de luz solar[42].

Todo esto nos lleva a un nuevo enfoque del problema demográfico, tan de moda en nuestros días. Algunos estudiosos están alarmados por la posibilidad de que la población mundial alcance la cifra de

siete mil millones en el año 2000 —éste es el nivel pronosticado por los demógrafos de las Naciones Unidas—. De otro lado, están aquellos que, como Colin Clark, alegan que con una administración adecuada de los recursos, la Tierra podría alimentar a unos cuarenta y cinco mil millones de seres humanos[43]. Sin embargo, ningún experto en población parece haber hecho la pregunta más vital para el futuro de la humanidad: ¿durante cuánto tiempo puede mantenerse una población mundial, sea ésta de mil millones o de cuarenta y cinco mil millones? Solamente si nos hacemos esta pregunta podremos ver cuán complicado es el problema de la población. Incluso el concepto analítico de la población óptima, sobre el que se han armado muchos estudios de población, aparece como una ficción inútil.

Lo que ha ocurrido con la lucha entrópica del ser humano a través de los últimos doscientos años es, a este respecto, una historia reveladora. Por un lado, gracias al progreso espectacular de la ciencia, el ser humano ha alcanzado un grado casi milagroso de desarrollo económico. Por otra parte, este desarrollo ha obligado al ser humano a forzar la utilización de los recursos terrestres hasta un grado increíble (por ejemplo, la perforación de pozos petrolíferos en la plataforma continental). También ha mantenido un crecimiento de la población, acentuando así la lucha por la alimentación y, en algunas zonas, elevando esta presión a niveles críticos. La solución, apoyada unánimemente, es un incremento en la mecanización de la agricultura. Pero veamos qué es lo que esta solución significa en términos de la entropía.

En primer lugar, al eliminar al socio tradicional del campesino —el animal de tiro—, la mecanización de la agricultura permite que toda la tierra cultivada sea destinada para la producción de alimentos (y al forraje únicamente en lo que sea necesario para el abastecimiento de carne). Pero el resultado final, que es el más importante, es un cambio del factor de baja entropía procedente de la fuente solar por la baja entropía procedente del stock terrestre. El buey o el búfalo de la India, que deriva su poder mecánico de la radiación solar captada por la fotosíntesis, es remplazado por el tractor, que se produce y opera con la ayuda de la baja entropía terrestre. Y lo mismo se puede aplicar a la sustitución del abono por los fertilizantes artificiales. En definitiva, que la mecanización de la

agricultura es una solución que, aunque inevitable en el atolladero actual, es antieconómica a la larga. De esta manera se está provocando que la existencia biológica del ser humano dependa crecientemente en el futuro de la más escasa de las dos fuentes de baja entropía. También se da el riesgo de que la agricultura mecanizada atrape a la especie humana en un callejón sin salida, pues existe la posibilidad de que algunas de las especies biológicas involucradas en el método tradicional de agricultura se vean forzadas a la extinción.

En realidad, el problema del uso económico del stock terrestre de baja entropía no se limita únicamente a la agricultura: es de hecho el problema principal para el destino de la especie humana. Con objeto de aclarar esto, consideremos "S" como el stock actual de baja entropía terrestre, y hagamos que "r" represente algún promedio anual de agotamiento. Si hacemos abstracción de la lenta degradación de "S" (como se puede hacer en este caso fácilmente), la máxima cantidad teórica de años que transcurrirían antes de que se agote completamente este stock será "S/r". Ese es también el mismo número de años hasta que la fase industrial de la evolución de la humanidad llegue forzosamente a su fin. Dada la fantástica desproporción entre "S" y el flujo de la energía solar que llega al globo anualmente, no hay duda de que aunque se use "S" de forma muy lenta, la fase industrial de la evolución del ser humano terminará mucho antes de que deje de brillar el Sol. Lo que llegue a suceder entonces (si es que la humanidad no se ha extinguido por algún bicho totalmente resistente o algún producto químico insidioso) resulta difícil de predecir. El ser humano podría continuar con vida regresando a la etapa recolectora de moras silvestres, como una vez lo hizo. Pero a la luz de lo que sabemos sobre la evolución, no parece probable que pueda haber una regresión. Sea como fuere, queda el hecho de que, cuanto más alto sea el grado de desarrollo económico, mayor será el agotamiento anual de "r"; por lo que las expectativas de la vida humana se acortarán.

El resultado es claro. Cada vez que producimos un Cadillac, destruimos irrevocablemente una cantidad de baja entropía que, de otra manera, podría utilizarse para producir un arado y una azada. Es decir, cada vez que producimos un Cadillac, lo hacemos al precio

de disminuir la cantidad de vidas humanas en el futuro. El desarrollo económico por medio de la abundancia industrial puede ser ahora una bendición para nosotros y para aquellos que puedan gozarlo en un futuro cercano, pero definitivamente va contra el interés de la especie humana como un todo, si es que su interés es tener una vida tan larga como sea compatible con su dotación de baja entropía. En esta paradoja del desarrollo económico podemos darnos cuenta del precio que el ser humano tiene que pagar por el privilegio único de poder ir más allá de los límites biológicos en la lucha por la vida. A los biólogos les gusta repetir que la selección natural es una serie de desaciertos fantásticos, toda vez que las condiciones futuras no se han tomado en cuenta. Esta observación implica que el ser humano es más sabio que la naturaleza y que debería asumir las funciones propias de ésta. Demuestra también que la vanidad del ser humano y la confianza del erudito en sí mismo jamás conocerán límite. La carrera del desarrollo económico, que es el sello de la civilización moderna, no deja dudas acerca de la incapacidad del ser humano para mirar hacia adelante. Sólo debido a su naturaleza biológica (sus instintos heredados) el ser humano se ocupa del destino de algunos de sus descendientes inmediatos, generalmente no más allá de sus bisnietos. Y no hay cinismo ni pesimismo en creer que, aunque a la humanidad se le haga saber el problema entrópico de la especie, ésta no estaría dispuesta a renunciar a sus actuales lujos para que la vida de los humanos sea más fácil de aquí a diez mil o, ni siquiera, mil años. Una vez extendidos los poderes biológicos por medio de los artefactos industriales, el ser humano se hizo, ipso facto, no sólo dependiente de una fuente muy escasa de mantenimiento de la vida, sino que también se hizo adicto a los lujos industriales. Es como si la especie humana pareciera decidida a llevar una vida corta pero extravagante. ¡Dejemos que las especies menos ambiciosas lleven una larga y aburrida existencia!

Las cuestiones discutidas en este trabajo pertenecen a las tendencias a largo plazo. Debido a que estas fuerzas actúan en forma extremadamente lenta, tendemos a ignorar su existencia y, en caso de reconocerlas, se les da menos importancia. La naturaleza del ser humano es tal que siempre se interesa en lo que sucederá mañana y no en lo que acontecerá dentro de miles de años. Sin embargo, estas fuerzas que actúan lentamente son en general más fatídicas. La

mayoría de la gente no muere debido a alguna fuerza que actúa rápidamente, como una pulmonía o un accidente automovilístico, sino por las fuerzas de acción lenta que causan la vejez. Como hizo notar un filósofo del jainismo, el ser humano empieza a morir al nacer. El caso es que no sería arriesgado aventurar algunos pensamientos sobre el futuro lejano de la economía humana, como no lo es predecir, a grandes rasgos, la vida de un niño recién nacido. Tenemos, pues, que la presión incrementada sobre el stock de recursos minerales debida a la moderna fiebre del desarrollo industrial, aunada al problema creciente de lograr que la contaminación sea menos nociva (lo que crea nuevas demandas sobre el mismo stock), forzosamente hará que el ser humano concentre su atención en las posibilidades de hacer mayores usos de la radiación solar, es decir, la fuente más abundante de energía libre.

Algunos científicos sostienen con orgullo que el problema de la alimentación está a punto de ser resuelto por la conversión inminente, a escala industrial, del petróleo mineral en proteína alimenticia —una idea inútil a la vista de lo que sabemos del problema entrópico—. La lógica en este problema justifica, por el contrario, la predicción de que, bajo la presión de la necesidad, el ser humano finalmente optará por la conversión contraria, o sea, la de hacer gasolina de los productos vegetales (si la gasolina es todavía necesaria)[44]. También podemos estar casi seguros de que, bajo la misma presión, el ser humano descubrirá los medios con los cuales poder transformar directamente la radiación solar en energía motriz. Desde luego, un descubrimiento de esta naturaleza representará el mayor descubrimiento para el problema entrópico del ser humano, ya que colocará también bajo su dominio la fuente energética más abundante para la preservación de la vida. El reciclaje y la purificación de la contaminación seguirá consumiendo baja entropía, pero ya no procederá del stock terrestre de nuestro planeta, que se está agotando rápidamente.

BIOECONOMÍA: UNA NUEVA MIRADA A LA NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA*[45]

Me propongo mostrar que el proceso económico es sólo una extensión de la evolución biológica y, por esta razón, las cuestiones económicas más importantes deben ser consideradas completamente desde este nuevo punto de vista. Una consecuencia significativa de dicha extensión evolutiva es la dependencia de nuestra especie de algunos recursos naturales de materia y energía muy escasos que únicamente existen en las entrañas de la Tierra. Sólo los seres humanos luchan y pelean entre ellos en torno al acceso y control de este tipo particular de recursos. Una segunda consecuencia importante, y totalmente sorprendente, es la perenne desigualdad entre las clases sociales, tanto dentro de una misma sociedad como también entre sociedades diferentes. Es la misma extensión evolutiva, y no las causas generalmente asumidas por la economía convencional, la responsable principal de estas desigualdades.

Es imprescindible que los economistas reconozcan el papel crucial de los recursos naturales de la Tierra en el proceso económico y comprendan las razones que se encuentran detrás de las desigualdades económicas, sobre todo si los problemas económicos y la reducción de la oferta de recursos que se ha hecho evidente en las últimas décadas se quieren ver desde una perspectiva correcta. Las soluciones que se derivan de esta perspectiva nos dicen lo que necesitamos hacer. Incluso aunque algunas de ellas puedan ser duras de poner en práctica, al menos no harán descarriar nuestros esfuerzos.

Evolución biológica

y desarrollo económico

Comencemos echando un vistazo a algunos hechos evidentes. El primero de ellos es que la humanidad constituye una especie biológica y, por esto, se halla sujeta a todas las leyes biológicas conocidas. Tal y como el consumado biólogo J. B. S. Haldane nos recordó en una ocasión, la humanidad también está sujeta a la extinción. En este momento, sólo podemos especular sobre qué factor evolutivo la traerá consigo dentro de cierto número de años. La esperanza —implícita en muchos argumentos ecologistas— de que la especie humana es inmortal (sólo el individuo es mortal) no está, sin embargo, apoyada por la evidencia empírica. Pero incluso aunque seamos una especie biológica, no somos la única. Algunos biólogos y, siguiéndolos a ellos, gran cantidad de personas, han argumentado que nos distinguimos del resto de criaturas vivas por la superioridad de nuestra naturaleza biológica. De nuevo Haldane puso de relieve que esta postura refleja el deseo del ser humano de felicitarse a sí mismo e, ingeniosamente, añadió que, para un mono, "el cambio de mono a ser humano puede ser muy bien visto como un cambio a peor"[46].

Lo que hace única a nuestra especie es su extraordinario modo de evolucionar. Todas las especies, incluida la nuestra, han progresado por medio de mutaciones biológicas que gradualmente han dotado a los seres vivos de músculos más fuertes, garras más afiladas, ojos más avispados, etc. El problema es que esta forma de mejorar la vida de una especie requiere un periodo de tiempo extremadamente largo. Durante la era del Eoceno, existió un animal —los paleontólogos lo llaman ahora Eohippus— que no era más grande que un perro. A través de sucesivas mutaciones, este pequeño animal necesitó cincuenta millones de años para convertirse en un poderoso caballo que ahora puede fácilmente tirar de un arado o ganar el Derby. La característica sobresaliente de la especie humana es que no esperó a la tremendamente lenta evolución biológica para poder realizar acciones que ninguna otra especie podía hacer. El ser humano puede ahora correr más rápido que un guepardo, cargar pesos más grandes que un elefante, y volar más deprisa y más alto que un pájaro. Además, este resultado se ha logrado de manera bastante simple.

El origen del proceso se remonta a hace veinte millones de años, hasta nuestro primigenio antecesor, el Proconsul. Numerosas y repetidas experiencias con un palo recogido accidentalmente de un bosque debieron de llevar finalmente a los miembros de esta especie a sentir que un brazo acompañado de un palo se convierte en algo más largo y poderoso. Por eso el Proconsul comenzó a cargar con un palo, justamente como si el palo constituyera una parte tan integral de su cuerpo como su propio brazo. Cuando surgió el Homo sapiens, apareció como un animal que utilizaba miembros separables —esto es, miembros que no eran parte de su cuerpo (soma) con los que cada individuo está dotado desde el nacimiento, sino aquellos que se producían y utilizaban tanto como se necesitasen—. Siguiendo a Alfred J. Lotka, podemos referirnos a éstos como órganos exosomáticos, y a aquéllos que forman parte del cuerpo como endosomáticos[47]. La cuestión importante es que ambas clases de órganos sirven esencialmente para lo mismo. Uno puede ir a la escuela andando o montado en una bicicleta. Y un ser inteligente de otro mundo puede ver muy bien que no existe diferencia entre el cuchillo que corta el pan y la mano que guía al propio cuchillo.

Es a través de la creciente producción de miembros separables más poderosos, rápidos y afilados como la especie humana se ha convertido en lo que somos en la actualidad y lo que seremos también en el futuro. El desarrollo económico no es otra cosa sino la extensión de la evolución biológica. Pero no debemos dejar de mencionar que la evolución exosomática fue posible sólo por la evolución biológica paralela del cerebro humano. Las dos formas son en realidad un tándem, siendo ésta una de las razones por las que la naturaleza de la evolución exosomática resulta tan afín a la biología. “La Meca del economista descansa en la biología más que en la dinámica económica”, advirtió ya Alfred Marshall[48].

Las dos evoluciones tienen, en efecto, mucho en común. A las mutaciones de la evolución biológica les corresponden las innovaciones exosomáticas. Ambas también parecen ocurrir sin ninguna regularidad, ni siquiera esa regularidad irregular y dialéctica que caracteriza a la aleatoriedad[49]. En la actualidad, buscamos incrementar la aparición de innovaciones a través de la investigación y el desarrollo (I + D), pero las innovaciones parecen

escapar a cualquier sistema predictivo. Y del mismo modo que, por ejemplo, no sabemos exactamente dónde, cuándo y en qué individuos apareció por primera vez el ojo, tampoco sabemos quién inventó la rueda o la canoa. Tampoco es verdad que las mutaciones o las innovaciones sean producto del deseo, o la necesidad. Pensarlo así sería retornar al lamarckismo, a la idea de que la jirafa surgió como necesidad de alcanzar las hojas de los árboles altos. Existen todavía innumerables necesidades humanas que no han sido satisfechas, y el hecho de que no se adopte una innovación a menos que satisfaga alguna necesidad (por más que sea irracional o endeble) no debe llevarnos a cambiar el sentido de la asociación entre las dos expresiones.

Ambas, las innovaciones y las mutaciones, son cambios cualitativos, no cuantitativos. La diferencia fue maravillosamente explicada por Joseph A. Schumpeter, quien fue el único economista en analizar el desarrollo económico de una manera completamente homomórfica con el análisis tradicional de la biología evolutiva. Solía decir: "Añádanse sucesivamente tantos vagones como se quiera, que no por ello se conseguirá tener un tren"[50]. Un biólogo puede acertadamente hacerse eco de la idea diciendo: "Añádanse tantas agallas como se deseen, pero no por ello se conseguirá tener un pulmón".

Al igual que las mutaciones, las innovaciones compiten con otras innovaciones bajo la regla de la selección natural del más apto. Las innovaciones también se extienden a través de un proceso de difusión similar al que se encuentra en el campo biológico. En primer lugar, para que una innovación pase de un grupo a otro, debe existir algún tipo de contacto íntimo. En segundo lugar, y más importante, el grupo de adopción de tal innovación debe ser también potencialmente receptivo a ella.

Finalmente, las innovaciones no son ni más ni menos hereditarias que las mutaciones. Las mutaciones se transmiten por herencia genética, lo que asegura la continuación de la vida biológica de una especie (por bastante tiempo, aunque sea finito). Un ser humano puede, desde luego, aprender por sí mismo cómo utilizar sus órganos endosomáticos —las piernas para caminar, las manos para agarrar, etc.—. Pero ningún humano —excepto el innovador mismo

— puede, sin entrenamiento previo, pilotar un aeroplano, o ni siquiera tallar un arco. Otro rasgo característico de la especie humana determina el uso continuado de los órganos exosomáticos predominantes, a saber: la tradición. Su papel es el de la herencia exosomática.

La tradición es la esencia de lo que los antropólogos llaman cultura. Apareció naturalmente con el uso de los primeros rudimentos de órganos exosomáticos. De manera gradual, la tradición fue incluyendo instrucciones no sólo de naturaleza puramente técnica, sino también preceptos o reglas de conducta social. Se ha convertido en algo crecientemente más complejo, y quizá incluso más mitológico, de la misma manera en que la estructura exosomática, en sí misma, ha crecido en complejidad; siendo así testigo de diferentes racionalizaciones de la organización social y política actual en los diferentes países del mundo, y de la obstinación de las estructuras legales asociadas a ellas.

La producción: origen del conflicto social

¿Cuáles son las trascendentales consecuencias de la evolución exosomática que mencionábamos al comienzo de este artículo? En el albor de su existencia como especie diferente, los humanos vivían en manadas amorfas y desvinculadas. El instinto gregario, tal y como Thorstein Veblen nos enseñó, hace que la gente se junte. La manada o rebaño ofreció las ventajas darwinianas de las relaciones sexuales adaptadas a la constitución humana y a su mejor defensa. Pero en ese albor de la historia, los órganos exosomáticos eran simples —un palo, una honda, o, por ejemplo, un arco y una flecha —. Éstas podrían estar fabricadas por un individuo, como mucho cooperando con otros miembros de la misma familia. Sin embargo, de manera gradual, los órganos exosomáticos se fueron haciendo más complejos, así que su producción requirió de la cooperación de un número de manos mucho mayor. La producción tuvo que convertirse entonces en una tarea social, que forzó a las comunidades humanas a organizarse ellas mismas en sociedades.

Por su propia naturaleza, la producción social requiere de dos clases de papeles: algunos individuos deben planificar, supervisar, y controlar el proceso de producción; otros deben sólo realizar las tareas que les asignen. En la terminología de Adam Smith, lo primero representa trabajo improductivo y lo segundo trabajo productivo[51].

Ambos tipos de trabajo son, sin duda, útiles y necesarios. El inconveniente de la división es que hace incrementar el conflicto social que ha asolado todas las sociedades humanas. Y, dado lo que sabemos acerca de la naturaleza humana, así como sobre la evolución de otras especies, la especie humana probablemente moriría en lujosos áticos antes de retornar a una forma de vida primitiva que no necesitase de la producción social. Así las cosas, el conflicto social continuará asolando a la humanidad mientras ésta se apoye en una existencia exosomática compleja.

Como los órganos exosomáticos —al contrario que los endosomáticos— no pertenecen por naturaleza a ninguna persona en concreto que realice alguna labor dentro de la sociedad, la cuestión de quién disfrutará sus servicios se acaba entrelazando con la cuestión de qué clase de trabajo realizará cada uno. ¿Quién bajará a la mina, y quién comerá caviar y beberá champán? Ésta es la gran pregunta. En cuanto a la naturaleza del origen del conflicto social, ningún esquema social podría, posiblemente, eliminar las diferencias sociales y económicas entre los “gobernantes” y los “gobernados”. Lo que cabe esperar hacer (no sin un duro esfuerzo) es evitar que estas diferencias se conviertan en algo abusivamente grande[52]. Como científicos sociales, traicionaríamos los ideales de nuestra profesión si, en vez de reconocer este hecho abiertamente, continuáramos engañando a la gente que nos mira pidiendo consejo y guía, en la creencia de que uno u otro esquema fetichista puede llevarnos a una nueva Jerusalén social.

Podría parecer que una prueba en contra de que el conflicto social sea el producto de la evolución exosomática es la ofrecida por las especies sociales —abejas, hormigas, y termitas; en particular aquellas que viven en sociedades suficientemente organizadas y complejas que han alcanzado ese estadio, no a través de la evolución exosomática, sino de la evolución endosomática—. La

diferencia esencial es que, en las sociedades de insectos, cada individuo está adaptado para una tarea específica desde su nacimiento. Por ejemplo, una hormiga guardián en una colonia ha nacido con una cabeza plana con la que bloquea la entrada a la montaña, dejando pasar sólo a los miembros que reconoce como tales. Además, a la hormiga guardián no le gusta hacer otra cosa que no sea este trabajo en particular. Por ello, no existe ninguna razón para que exista un conflicto entre las diferentes clases de individuos. Cuando, al acercarse el verano, las abejas obreras matan a la mayoría de los zánganos, no se trata de una guerra civil, sino de un fenómeno biológico normal: los zánganos se encuentran ya vencidos por un aletargamiento producido de manera natural.

Pero las cosas son diferentes en las sociedades humanas. Nadie está predestinado desde su nacimiento para realizar una determinada labor. Posteriormente, en la vida, uno puede convertirse en un cochero o en un jerarca. Del mismo modo, el ser humano, al contrario que un miembro de una sociedad de insectos, seguramente preferirá ser un jerarca que un cochero, presidente de una empresa en vez de conserje, o comisario mejor que mano de obra en un koljoz. Lo que uno llegará a ser es, en gran parte, el resultado de fuerzas que operan en la propia sociedad en la que uno vive[53].

Desigualdad entre sociedades

Además de la desigualdad dentro de una misma sociedad, la evolución exosomática también es responsable de la desigualdad entre diferentes sociedades. La sociedad humana ha sido dividida (y todavía lo está) en razas biológicas diferentes. Como todas las razas biológicas, las razas humanas pueden funcionar de manera biológicamente perfecta con cualquier otra raza. Cabe la posibilidad de que una pareja de dos individuos de diferentes razas sean capaces, ellos solos, de perpetuar la especie humana. Pero por razones todavía difíciles de establecer, debido a que no existe nada cercano a un experimento en este campo, la humanidad también ha

estado dividida en diferentes especies exosomáticas. Digo especies, en este caso, porque los grupos están tan diferenciados exosomáticamente —quizás incluso más diferenciados— de lo que el gato común (Felis domestica) se diferencia biológicamente del puma (Felis concolor).

En el tiempo en que los faraones eran capaces de construir pirámides, la población de Centroeuropa estaba viviendo a un nivel exosomático del hombre de Cromañón. Incluso hoy existen diferencias aún mayores. Compárense las herramientas rudimentarias utilizadas por las tribus del alto Amazonas con el gigante industrial de Estados Unidos. Incluso el Homo indicus es exosomátcamente diferente del Homo americanus, a pesar de la antigüedad del primero y de lo que una vez fue su espléndida cultura. El nivel exosomático del Homo americanus está personificado en su variedad eléctrica, preferiblemente a través de hornos con autoencendido, autoparada y autolimpiado. La herramienta correspondiente en el subcontinente asiático es un antiguo artilugio para cocinar en el que se quema estiércol seco[54]. Esas diferencias exosomáticas son la razón fundamental por la que el inmenso apoyo financiero de Estados Unidos —y ahora también de los países occidentales— falla a la hora de desarrollar a los países subdesarrollados. A causa de las diferencias exosomáticas cualitativas entre los países desarrollados y subdesarrollados, ningún órgano exosomático puede ser transplantado desde los primeros a los segundos. La ayuda al desarrollo de Estados Unidos resultó completamente exitosa a la hora de ayudar a que los países desarrollados devastados por la Segunda Guerra Mundial —desde Noruega hasta Grecia y Japón— pudieran retornar a la situación anterior, precisamente porque todos esos países tenían la misma estructura exosomática que Estados Unidos.

Por ejemplo, el nivel exosomático de Estados Unidos no puede posiblemente ser de mucha ayuda a la India. En Estados Unidos, la actual I + D se dirige hacia la construcción de “gabinetes estratégicos”, porque la población norteamericana no haría otra cosa. ¿Cómo podría la I + D, con tal orientación, ayudar posiblemente a los indios a mejorar su modo de cocinar, de transporte, etc.? En realidad —y esto es mucho más entristecedor— ni siquiera la I + D en la India se preocupa por cómo mejorar la

situación exosomática allí imperante.

Dicho claramente, las desigualdades exosomáticas no pueden ser eliminadas con simple ayuda financiera, con independencia de lo generosa que ésta sea. Sólo la investigación al nivel propio de los países subdesarrollados puede ayudar. Pero tal proyecto implica un largo y amplio trabajo de campo para el que ni siquiera un cuerpo de paz sería suficiente. Tal y como argumenté hace unos diez años, lo que se necesita es un ejército de paz[55]. Sin esto, el abismo entre los desarrollados y los subdesarrollados probablemente aumentará en vez de hacerse más pequeño. La dificultad con este plan es que un ejército de paz presupone un tipo de generosidad completamente diferente de las simples ayudas financieras o apoyos técnicos. Sólo puede ser descrito como la mayor de las generosidades posibles. Quizá la humanidad no sea capaz de ese cambio en su corazón. Pero esta posibilidad no debiera llevarnos a ignorar el hecho de que, como tampoco en el caso de la desigualdad entre clases sociales, no hay razón para impedir la eliminación de las desigualdades entre diferentes sociedades. En el muy largo —y terriblemente duro— plazo, las desigualdades pueden desaparecer dependiendo de si hacemos algo para lograrlo o no.

El papel de los recursos naturales

en el proceso económico

La perspectiva de la economía estándar

Todos los seres vivos luchan por los medios de su supervivencia. Nosotros no somos una excepción. Pero las otras criaturas necesitan sólo la energía solar y algunas sustancias químicas procedentes del suelo, el aire y las aguas. Debido a que nuestros órganos exosomáticos se producen ordinariamente con la ayuda de recursos minerales, el ser humano se ha acabado convirtiendo en un agente

geológico; de hecho, el único entre el conjunto de todas las especies. El control sobre los recursos minerales ha estado detrás de todas las grandes conmociones históricas, ya fueran guerras o migraciones. La razón es que el tiempo acabó convenciendo a la mayoría de la gente de que todos los recursos se consumían, como así era, a través del uso, incluso aunque esto llevara a la ciencia mucho tiempo antes a incorporar esta verdad a sus documentos oficiales.

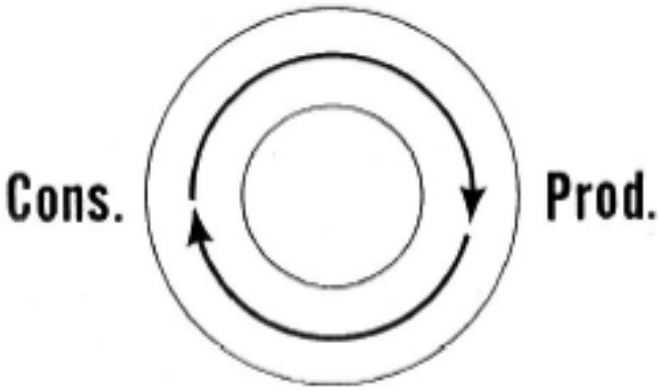
A pesar de esta clara evidencia, la economía estándar prefirió ignorar el papel absolutamente crucial jugado por los recursos naturales en el proceso económico. Los recursos naturales son algo simplemente dado, sin ocupar ningún lugar en las consideraciones analíticas convencionales[56]. Este hecho es, hasta cierto punto, justificable y, al mismo tiempo, muy curioso. En la época del nacimiento de la economía estándar, los recursos naturales parecían existir en una cantidad virtualmente ilimitada (lo que pudo muy bien haber sido la razón por la que también Karl Marx negó cualquier papel a los recursos naturales en el proceso económico). Los antepasados neoclásicos querían construir una nueva economía a partir del modelo de la mecánica porque los hallazgos de la mecánica todavía brillaban resplandecientes. ¿No descubrió Urbain Le Verrier el planeta Neptuno en 1846 sin necesidad de escrutar el firmamento, sino con la punta de su lapicero después de haber trabajado con las ecuaciones de la mecánica? El hecho curioso es que, en la época en que la economía estándar comenzó a andar, la epistemología mecanicista ya había caído en desgracia dentro de la propia física. Pero todavía es más curioso que toda la ciencia económica nunca haya intentado liberarse de las garras del dogma mecanicista[57].

Todo el que deseara hojear cualquiera de los manuales económicos más respetados llegaría fácilmente al típico diagrama en el que la economía estándar representa el proceso económico (figura 1).

Figura 1

El proceso económico representado

por la economía estándar



Esta perspectiva del proceso económico como un tiovivo entre la producción y el consumo, o igualmente entre el consumo y la producción, es el síntoma más desconcertante de la epistemología mecanicista. También puede reflejar el punto de vista de los negocios, que reduce el proceso a la circulación del dinero (aunque incluso los símbolos monetarios no pueden durar para siempre).

El proceso económico no es una mecánica del interés propio y de la utilidad, aunque estos factores proporcionan algunas de las fuerzas motrices. El triste estado en que se encuentra la economía estándar proviene del hecho de que el proceso económico está sólidamente anclado en el medio ambiente material y, además, lo que ocurre en ese medio ambiente no puede ser representado como si fuera un péndulo mecánico. Desde el punto de vista de los fenómenos vitales, tanto en el medio ambiente como en todo el universo, lo que ocurre está sujeto a las leyes no de la mecánica, sino de la termodinámica.

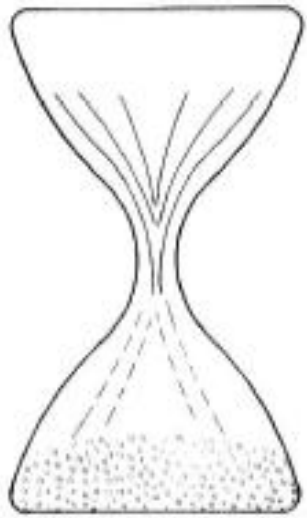
Aplicabilidad de las leyes de la termodinámica

La termodinámica, por regla general, parece una ciencia simple. Pero su enfoque analítico todavía está salpicado de conceptos y cuestiones muy intrincadas. Para la finalidad de un análisis general del proceso económico, realizaremos una representación muy plástica.

Propongo representar un sistema aislado —por ejemplo, el universo entero— por medio de un reloj de arena (figura 2). La sustancia que está dentro de él representa la materia-energía. Y, como el reloj de arena está completamente aislado, la sustancia permanece constante, lo que viene reflejado por la primera ley de la termodinámica o la ley de la conservación de la materia-energía. Como en todo reloj de arena, la sustancia se vierte desde la mitad superior hacia la mitad inferior. Pero dos hechos diferencian el reloj de arena del universo de un simple reloj ordinario.

Figura 2

Materia-energía en un sistema aislado



En primer lugar, mientras que la cantidad de materia-energía permanece constante, la calidad de esa materia-energía cambia. Cuanto más tiempo permanezca la materia-energía en la mitad superior del reloj, mayores serán las posibilidades de que en ese estado pueda ser utilizada por nosotros los humanos, además de por cualquier otra forma de vida terrestre. Esta valiosa cualidad se pierde tan pronto como la materia-energía se vierte a la mitad inferior del reloj. El primero de esos estados constituye la materia-energía disponible; el segundo, la materia-energía no disponible. Debido a que esta distinción tiene una base antropomórfica, los puristas colocan a la termodinámica dentro de una categoría en sí misma, separada de la física. La verdad es que la termodinámica es la física del valor económico —y ésta es la razón por la que todos los economistas deberían estar muy familiarizados con sus enseñanzas—[58].

La segunda peculiaridad del reloj de arena del universo es que no se puede dar la vuelta. Esto significa que la materia-energía disponible se degrada de forma continua e irrevocablemente en una forma no disponible. Si nos percatamos de que el complicado concepto de entropía es, en el fondo, un índice del nivel relativo de materia-energía no disponible, la anterior formulación es equivalente a la ley de la entropía. De una forma más explícita que la que se

encuentra generalmente en la literatura, podemos establecer que la entropía de un sistema aislado tiende continua e irrevocablemente hacia un máximo, que se produce cuando el sistema, en última instancia, alcanza el equilibrio (no conteniendo entonces más materia-energía interna disponible).

Hay un aspecto particular en conexión con esta ley que necesita ser enfatizado. No sólo es la energía (tal y como creen las huestes de principiantes que ahora se sienten atraídos por las cuestiones de la escasez de recursos), sino que es también la materia la que se disipa continua e irrevocablemente. Todo lo que nos rodea está continuamente oxidándose, resquebrajándose, erosionándose por el viento y el agua, etc. Pero, aunque pueda parecer sorprendente, incluso la Academia se equivoca en este punto. La primera cosa que se menciona en todos los manuales elementales de termodinámica es la transformación del trabajo en calor como consecuencia de la fricción. Pero ningún manual, por lo que yo conozco, tiene en cuenta el hecho de que la fricción también disipa la materia. En ocasiones, el argumento contra la degradación irrevocable de la materia alude a la posibilidad de reunir de nuevo las partes que constituyen el todo. Verdaderamente, si las perlas de un collar roto se esparcen por el suelo de un auditorio, podemos reunirlas fácilmente —aunque a costa de un cantidad sustancial de energía, algo de materia adicional y, sobre todo, un tiempo considerable—. Sería, sin embargo, completamente inútil extrapolar esta situación al caso en el que las perlas se disuelvan primero en un ácido y la solución se espolvoree por los océanos. Es obvio que el periodo de tiempo necesario para reunir estas perlas sería prácticamente infinito. Sólo este requerimiento hace que la operación sea, de hecho, irrealizable[59]. A este respecto, se puede recordar que la teoría consagrada enseña que, si uno pudiera mover un sistema termodinámico a una velocidad infinitamente pequeña, entonces podría hacer reversible cualquier cambio. Por eso, la imposibilidad de cambios reversibles y de volver a reunir la materia no disponible procede de la misma y única razón: el tiempo infinito requerido para conseguirlos[60].

Otro punto en el que merece la pena poner el acento es que la materia-energía se degrada con independencia de si la vida está o no presente. Un montón de carbón abandonado a su suerte “suda”,

esto es, se humedece en la medida en que la energía química del carbón se transforma gradualmente en agua, dióxido de carbono, y calor disipado. O también se puede prender fuego por combustión espontánea.

La ley de la entropía es la única ley natural en la que la presencia de la vida importa. Algunas formas de vida —las plantas verdes, especialmente— reducen la degradación, mientras que los llamados consumidores —animales, bacterias, etc.— la aceleran. Estos hechos no violan la ley de la entropía porque esta ley no establece la velocidad de degradación con respecto al tiempo mecánico, que es respecto al que está relacionado cualquier medida de la velocidad. En otras palabras, existe una indeterminación entrópica en el mundo material que es responsable de la, todavía, pobre comprensión de los fenómenos vitales[61].

La ley de la entropía enseña en forma negativa: no podemos utilizar el humo del tubo de escape de un automóvil para hacer funcionar el motor, ni podemos reunir en un nuevo neumático las moléculas de goma de un neumático desgastado esparcidas sobre la carretera. Ya se trate de energía o de materia, sólo podemos utilizar una vez una cantidad dada de baja entropía[62].

Ciertamente, podemos reciclar la materia, pero no la materia disipada. Podemos reciclar únicamente materia que todavía está disponible pero no de una manera útil para nosotros; esto es, el garbojunk[63] —botellas rotas, motores desgastados, periódicos viejos, etc.[64]—. La ley de la entropía es la raíz de la escasez económica. En un mundo en el que esta ley no fuera de aplicación, la energía de un trozo de carbón podría ser convertida completamente en trabajo, el trabajo de nuevo en energía, y así indefinidamente. Las herramientas no se desgastarían. Pero la vida tampoco existiría. Por eso sería una locura desear que la ley de la entropía (e implícitamente la escasez) no fuera de aplicación.

La Tierra como un sistema entrópico cerrado

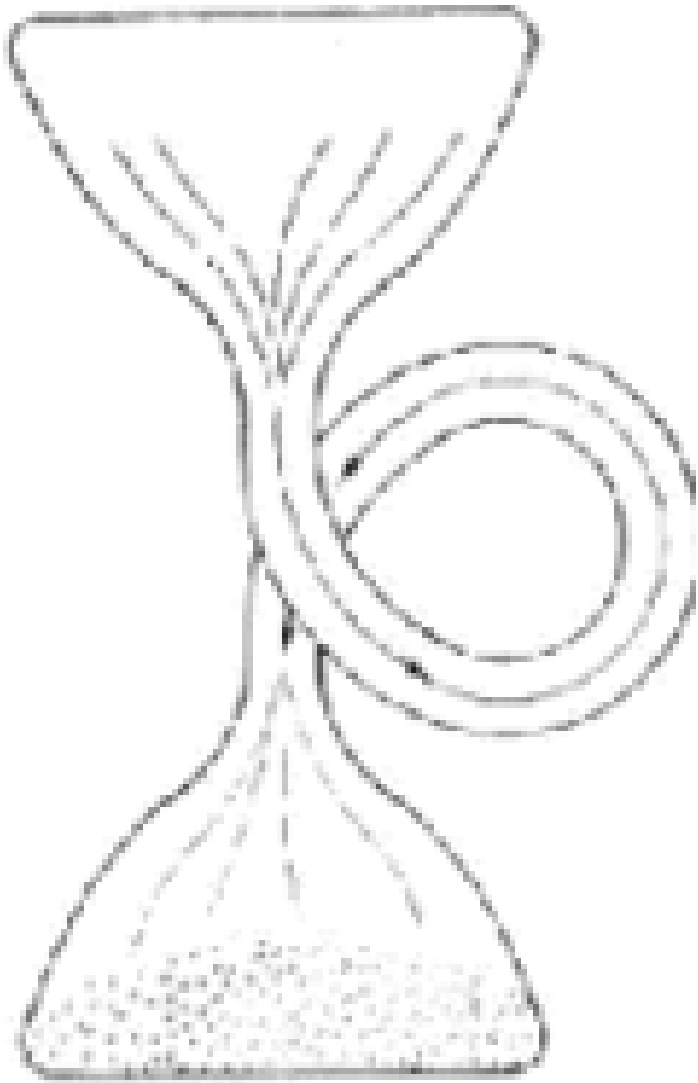
La naturaleza entrópica del proceso económico en su relación con el medio ambiente accesible puede ser representada de manera gráfica a través de una ligera modificación de nuestro anterior reloj de arena (figura 2). En la nueva representación, un tubo en espiral representa el proceso económico que toma materia-energía del entorno y, después de utilizarla, la devuelve en forma no disponible al mismo medio ambiente (figura 3).

Figura 3

Relación entre el proceso económico

y el medio ambiente accesible en un sistema

termodinámico abierto



Un flujo de entrada (input o insumos) de recursos valorables entra en el proceso y un flujo de salida (output) de lo que generalmente se conoce como “residuos”, sin valor desde el punto de vista económico, sale del proceso. En todas las ocasiones algo de materia-energía pasa a través del sistema o, más aún, se utiliza dentro del mismo. Esto es el transumo o flujo metabólico (throughput), por

utilizar un término muy apropiado acuñado por Kenneth E. Boulding[65]. Sin embargo, debemos tener en cuenta que, a menos que adoptemos una perspectiva de los acontecimientos a muy largo plazo, el sistema económico tiene unos cimientos materiales de fondos casi imperecederos. Estos son los agentes del proceso —la población, las herramientas en general y también, para decirlo todo, la tierra[66]—. El papel fundamental del transumo (throughput) es mantener a la población y a las herramientas en condiciones de trabajar. Además, digo "herramientas" porque para una existencia exosomática es tan vital su mantenimiento como lo es para la población el mantenimiento de sus órganos endosomáticos. Sólo imagínense —si alguien puede hacerlo— lo que ocurriría si todos los instrumentos exosomáticos fueran destruidos de una vez por alguna forma de prestidigitación sobrenatural.

Incuestionablemente, el sistema económico debe contener un cimiento material porque no podemos manejar la energía sin la ayuda de un aparato o soporte material. Excepto en unos pocos casos —tales como el fotón— no existe energía completamente separada de la materia, ni siquiera a una escala subatómica. A este nivel, sin embargo, existen fenómenos para los que la ecuación de Einstein $E = mc^2$ es aplicable. Pero, en la realidad, no es todo tan simple como parece sobre el papel.

La equivalencia de Einstein funciona normalmente en la conversión de materia en energía, pero no viceversa. Incluso en la mayor acumulación de materia-energía, no existe una formación apreciable de materia a partir únicamente de energía. En las reacciones nucleares se ha tenido éxito en aumentar la masa de los átomos de uranio hasta el punto de obtener elementos transuránicos. Pero ninguna transformación de energía pura en cobre, por ejemplo, es posible bajo las condiciones de este planeta.

Existe todavía otra razón por la que cualquier análisis económico de los recursos naturales debe tener en cuenta la contabilización por separado de ambas, de la energía y de la materia. Mientras la materia terrestre disponible continúe siendo accesible, el proceso económico puede ser representado por el reloj de arena espiral de la figura 3, que incorpora un transumo o flujo metabólico (throughput) tanto de materia como de energía. Este caso se

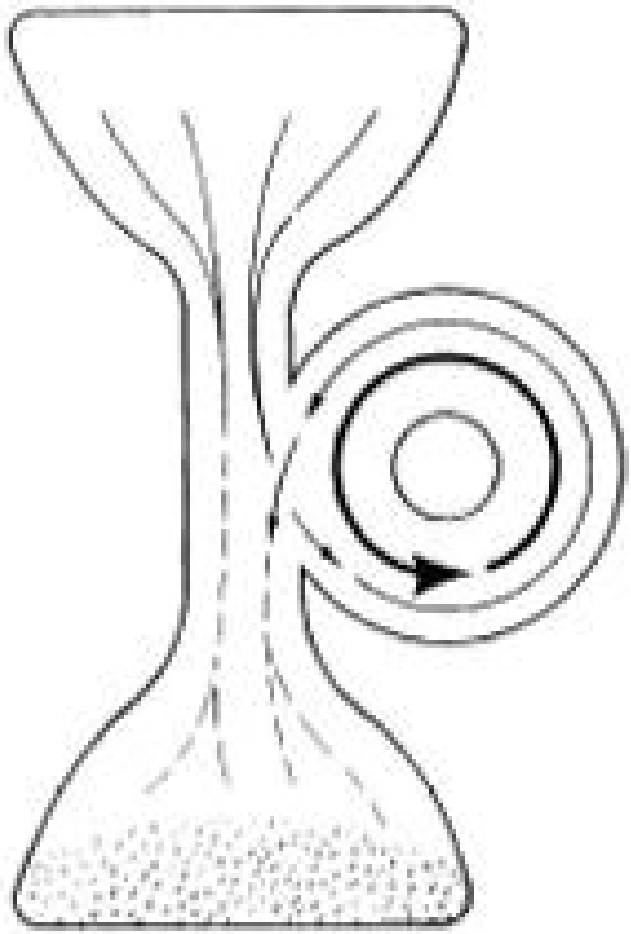
corresponde con un sistema termodinámico abierto. Sin embargo, la Tierra en sí misma es, para cualquier finalidad práctica, un sistema cerrado, es decir, un sistema que sólo intercambia energía con el entorno —la radiación solar como input y la energía térmica disipada como output que sale al exterior—. Su contenido material permanece siempre constante respecto del exterior. El número de átomos de cobre que existen hoy conjuntamente sobre la Tierra y dentro de la corteza terrestre es el mismo en tanto en cuanto el planeta se ha convertido en un cuerpo cósmico relativamente estable[67].

Un sistema cerrado se representa por medio del tubo en espiral del reloj de arena de la figura 4, en el que la flecha negra y gruesa significa la cantidad constante de materia que gira alrededor. Pero como no existe un flujo de entrada de materia (de la calidad entrópica que sea), como tampoco la materia puede obtenerse a partir de la conversión de energía, y como la materia disipada no puede reciclarse, está claro que la continua degradación entrópica de la materia en un sistema cerrado debe alcanzar un punto en el que el trabajo interno no pueda continuar desarrollándose. Dicho de otra manera: un sistema cerrado no puede ser un estado estacionario, excepto después de que su entropía material haya alcanzado su máximo[68]. A la vista de esto, a muy largo plazo, la materia puede convertirse verdaderamente en el motivo de escasez fundamental para la humanidad[69].

Figura 4

Materia en un sistema

termodinámico cerrado



Esta cuestión tiene que ver con la revitalización de una idea de John Stuart Mill que está siendo retomada ahora y defendida de manera convincente por Herman E. Daly[70]. La idea tiene indudablemente algunos méritos implícitos —el mayor de ellos es su denuncia de la manía del crecimiento que las mejores cabezas de la economía estándar han extendido por todo el mundo—. Pero el argumento de que la salvación ecológica de la humanidad descansa en la economía de estado estacionario se da de bruces contra los hechos entrópicos discutidos en estas páginas, además de contra la estructura geológica del planeta. Sólo la lucha, la continua lucha

con una naturaleza cicatera, es lo que le espera al futuro de la humanidad. Nuestra mayor esperanza consiste sólo en atenuar su intensidad.

Un inventario de nuestra dotación entrópica y de nuestras potencialidades nos ayudará a encontrar el camino hacia una meta más modesta, aunque esperemos que alcanzable.

Fuentes de materia-energía disponibles y accesibles

Resulta apropiado comenzar por la energía del Sol. El Sol irradia anualmente 10^{13} Q —una cantidad impresionante—, pues Q es ya una cantidad astronómica por sí misma ($Q = 10^{18}$ BTU[71]). De esta cantidad, la Tierra intercepta sólo 5.300 Q anuales, es decir, alrededor de 100 Q por semana. Pero incluso esta cantidad debería ser asombrosa para nuestras escalas ordinarias de medida. Por ejemplo, según la estimación más optimista, el stock total de combustibles fósiles asciende sólo a 200 Q. Esta cantidad nos la podría proporcionar el Sol con sólo dos semanas de radiación, y hemos de considerar que el Sol brillará con casi la misma intensidad durante al menos otros 200.000 millones de semanas (4.500 millones de años) —desde luego mucho más que el periodo de vida probable de la especie humana—.

La energía solar también tiene una gran (y única) ventaja al no generar contaminación en el estricto sentido de la palabra. Igual que un salto de agua, la energía solar termina en la misma forma con independencia de si es utilizada o no[72]. Sin embargo tiene un tremendo y singular problema cuando se va a utilizar industrialmente. La energía solar nos llega igual que una neblina fina. Si fuera una lluvia fina en vez de una radiación fina, podríamos capturar su energía cinética con una gran placa metálica. Las gotitas que golpearan la placa quizás podrían afectar a una ciudad del tamaño de Detroit, siempre que la placa fuera lo suficientemente grande —posiblemente tan grande como el mismo estado de Michigan—. (Dejemos de lado ahora cuál debería ser el grosor y el peso de esa inmensa placa). Afortunadamente, no

tenemos que atrapar la lluvia; la más fina de las lloviznas se deposita por sí misma en riachuelos, arroyos y ríos. Todo lo que necesitamos hacer es encontrar un lugar en el que miles de millones de gotas de lluvia se reúnan para formar un salto de agua. En un marcado contraste con la llovizna, la energía solar no se acumula por sí misma. Para atrapar su energía finamente dispersa necesitamos alguna placa —que, si queremos obtener una cantidad importante de energía disponible, debería ser tan grande como la que acabamos de describir—[73].

Existen varios esquemas para lograr una manera barata de aprovechar la energía solar, todos procedentes de los autoproclamados expertos en energía. Lo que todos estos esquemas ignoran es que la extremadamente débil intensidad de radiación solar posiblemente no puede ser modificada. Es una constante física (la constante de Langley), que se determina por la estructura cosmológica de nuestro sistema solar. Tampoco es posible tener radiación solar para concentrarla por sí misma de tal manera que podamos capturar mucha energía con un pequeño panel. Si la energía solar se convierte en la única fuente energética en el futuro, en ese caso el modo de vida de la humanidad se verá alterado de manera importante a través de procesos naturales. Confiar principalmente en la energía solar significa, en gran medida, un regreso a la naturaleza. Las aglomeraciones urbanas son incompatibles con una economía que se base principalmente en la energía solar. En todo caso, son enormes máquinas de producción de entropía, que provocan la disipación de la materia a niveles superiores a los de los procesos entrópicos de la naturaleza. Por ejemplo, piénsese sólo en el nitrógeno que termina disipado en las aguas de los océanos a causa de la enorme cantidad de alimento ingerido en las grandes ciudades.

Otra alternativa abierta a la humanidad es la energía nuclear. Aunque el stock de esta energía, si se utiliza en los reactores ordinarios, no suma una cantidad mucho mayor que los combustibles fósiles, si se usa en el reactor-reproductor, algunos opinan que podría proporcionar abundante energía para una población de veinte mil millones de personas durante, quizás, un millón de años[74]. Pero este plan a gran escala está lleno de problemas por las consecuencias no previstas para la especie

humana, y tal vez para toda la vida terrestre. Representa, de hecho, un auténtico pacto fáustico. Los defensores de este pacto no nos dicen cómo almacenar de manera segura los residuos nucleares. Ni tampoco sugieren qué hacer con las montañas de residuos mineros resultado de la extracción del uranio a partir del granito de New Hampshire, o de la pizarra bituminosa de Chattanooga. Es una preocupación aún más grave el que sólo sean necesarias unas ocho libras de plutonio 239 para fabricar una simple bomba atómica. Y no existe forma de asegurar que el plutonio 239 no vaya a parar a manos que no están controladas por mentes sensatas. Sólo en Estados Unidos, cientos de libras de material nuclear se encuentran ya sin contabilizar. Desde luego, la humanidad está en la encrucijada más fatídica de su historia.

El sueño de los físicos de la reacción nuclear [de fusión] controlada (que, aunque no completamente limpia, sea relativamente segura) sigue siendo todavía un sueño. Las esperanzas, que alguna vez fueron optimistas, han ido tomando gradualmente tintes escépticos[75]. No hay que excluir que —como me aventuré a especular hace poco tiempo[76]— la energía termonuclear pudiera evitar para siempre el trabajo humano. La experiencia con otras energías igualmente intensivas —desde el rayo hasta la pólvora— demuestra que esta idea no está lejos de la realidad[77].

Sin embargo, dando la vuelta a este dilema, un hecho resulta incontrovertible: la dotación humana de materia-energía accesible es finita. Enfatizando más, utilizaré el calificativo “accesible”. Nos hallamos en una nave espacial que flota en un mar cósmico de materia-energía disponible, pero, estando limitados a únicamente una motita en el espacio cósmico, sólo podemos tener acceso a una fracción infinitesimal de esa materia-energía. Aquellos que siguen hablando de la llamada escapada a otros sistemas solares ignoran que los soles más cercanos que podrían albergar planetas como el nuestro se encuentran aproximadamente a 10 años luz de distancia. ¡Sólo un viaje exploratorio del cohete más veloz necesitaría al menos 200 años! En el mejor de los casos, la simple comunicación por radio con otros seres inteligentes requeriría un periodo de tiempo equivalente a dos generaciones.

La matización en relación a la accesibilidad se aplica igualmente a

los recursos terrestres. Desde luego, existe materia-energía —como ciertos yacimientos de petróleo de esquisto— que se encuentra disponible pero inaccesible porque requeriría una cantidad de energía para extraerlo mayor de la contenida en él[78].

Pero la dificultad no termina aquí. Algunos autores, comenzando por Fred Cottrell[79], han hablado de energía neta. La dificultad de esta propuesta es que necesitamos ambas, la materia y la energía, para conseguir tanto materia como energía. Por eso, ninguna operación puede ser realizada únicamente con un solo factor (input), ya sea éste de energía o de materia. Como la materia y la energía no pueden reducirse a un denominador común práctico, no podemos decidir sobre una base puramente física cuál de dos sistemas, uno que utiliza más materia u otro que utiliza más energía, es más eficiente. Esta decisión sólo puede tomarse por medio de consideraciones económicas, tales como la relativa accesibilidad de los recursos involucrados en términos de esfuerzo humano. Pues, aunque el proceso económico es entrópico, las raíces del valor económico no están restringidas sólo al dominio físico[80]. El antiguo, aunque ahora olvidado, principio de William Petty es una verdad crucial: el trabajo es el padre y la naturaleza la madre de la riqueza[81]. Permítasenos remarcar bien este punto: el valor ecológico implica otras consideraciones diferentes a las económicas.

Las falacias de la economía estándar

La economía estándar no se ha equivocado sólo en ignorar completamente el papel económico de la naturaleza. Su segundo error ha sido su negativa a reconocer el tamaño de la población como un factor a tener en cuenta en el problema económico. Habiendo abrazado desde fuera la creencia en el crecimiento ilimitado —un truco de prestidigitación que han dignificado con la munición matemática de las funciones exponenciales— la economía estándar relegó la doctrina de Malthus a la más baja reputación. Esto está personificado en el juicio de Mark Blaug en su artículo sobre Malthus en la International Encyclopedia of the Social

Sciences (IX, p. 551): “La teoría de la población de Malthus es un ejemplo perfecto de metafísica disfrazada de ciencia”. Obviamente uno no puede aceptar a Malthus y, al mismo tiempo, predicar la manía del crecimiento.

La verdad es que Malthus no era lo suficientemente malthusiano[82], pues no negó que la población pudiera crecer sin límite, sino que no lo podía hacer más rápido que los medios de subsistencia. Ésta es, en efecto, la esencia de su posición, que él, desafortunadamente, lanzó en la forma más vilipendiada: la población crece exponencialmente y los medios de subsistencia sólo linealmente.

Lo que deberíamos retener como algo valioso de Malthus es que el tamaño de la población ejerce una presión sobre los recursos disponibles. Este problema ha sido en gran medida malentendido, con la consecuencia de que una parte importante de la literatura ha crecido alrededor del concepto de población óptima. Actualmente, algunos opinan que la Tierra podría alimentar a cincuenta mil millones de personas siempre que las mejores técnicas agrícolas se aplicaran a toda la superficie potencialmente cultivable. Lo que estos autores olvidan decirnos es durante cuánto tiempo podría la Tierra mantener tal población. De lo discutido en los epígrafes anteriores, uno podría preguntarse durante cuánto tiempo podría sobrevivir una población de incluso sólo un millón de personas. Las respuestas a estas cuestiones dependen principalmente de los métodos que se utilicen para aumentar los alimentos.

Una agricultura mecanizada con variedades de alto rendimiento recorta la vida de cualquier población, con independencia de su tamaño, porque la agricultura mecanizada con variedades de alto rendimiento constituye —aunque pueda parecer sorprendente— un inmenso despilfarro de recursos[83]. Sustituye factores que dependen principalmente de la radiación solar —animales de carga, estiércol, rotaciones de barbecho— por factores que agotan los recursos terrestres —tractores, gasolina, fertilizantes químicos—[84]. No tenemos mejores células solares operando a ras de suelo que el caballo, el buey o el búfalo de agua.

También hemos sido cegados por una tercera falacia de la economía estándar —la creencia absoluta en el poder de la tecnología, en el principio de que cualquier innovación tecnológica puede traernos el

progreso duradero a la humanidad—. Tal creencia es esencial para la manía del crecimiento. Incluso la tecnología —con más frecuencia que lo contrario— se ha movido en contra de la economía de los recursos. Se pueden aportar ejemplos a voluntad. Pero cosas tales como automóviles con autoencendido y fotosensibles, o banderas automáticas, palidecen en comparación con la agricultura mecanizada.

No obstante, en este momento, posiblemente no podemos volver a una agricultura orgánica, en la que el ser humano deba compartir el suelo fértil con los animales de carga y también lograr sólo un menor rendimiento por acre. Tal movimiento resulta absolutamente imposible con el actual tamaño de la población —cuatro mil millones— que, sin duda, excede de la capacidad de carga orgánica de la Tierra. Además, cada año se incorporan ochenta millones de personas más que deben ser alimentadas. Es como si cada año una nueva Alemania Oriental y Occidental aparecieran en el mundo. Sólo para alimentar estas bocas adicionales, la oferta de cereales debería aumentar cada año en veinte millones de toneladas. Y la actual producción puede no resultar suficiente para eliminar la malnutrición y el hambre de millones de personas.

Implicaciones de un sistema cerrado

para la economía

A la luz de las ideas desarrolladas en estas páginas, ¿qué puede proponer un economista? ¿Debería unirse al coro de economistas convencionales que todavía predica que, venga lo que venga, encontraremos una salida porque la tecnología también crece exponencialmente? ¿Se unirá a ellos para explicar que el mejor de los mundos posibles está al alcance de la mano siempre que los precios sean correctos? ¿O escuchará a su venerada fe en el poder del análisis coste-beneficio? Sugiero que uno no debería hacer ninguna de esas cosas.

La tecnología no puede exceder el límite teórico de la eficiencia establecido hace casi doscientos años por Sadi Carnot, el fundador de la ciencia termodinámica. Ni siquiera es posible alcanzar ese límite. El único progreso milagroso alcanzado por la tecnología es la utilización de nuevas fuentes de energía. Pero aquí debemos ponderar los costes frente a los beneficios. Esperemos que el ser humano no sea tan "racional" como para elegir el confort industrial a costa de morir por veneno nuclear. Aunque estemos preocupados por la fusión controlada, se debería recordar que no resulta prudente construir casas sin escaleras ni ascensores con la esperanza de que la tecnología podrá algún día hacer desaparecer la gravitación. Esperemos primero al milagro.

Probablemente tampoco podemos confiar en el mecanismo del mercado para evitar las catástrofes ecológicas, porque el mercado se basa sólo en los parámetros de la oferta y la demanda de las generaciones actuales, cuyo horizonte es simplemente un breve periodo en comparación con la vida total del conjunto de la especie. Los precios nunca pueden ser ecológicamente correctos porque las generaciones futuras no están presentes para pujar por los recursos naturales, cara a cara, con las generaciones actuales[85]. Si todas las generaciones futuras pudieran también pujar, probablemente no habría acero disponible suficiente para otra cosa que no fueran arados y hoces. Y aun así, todavía seguimos produciendo generosamente Cadillacs, Rolls-Royces y Volgas[86].

El análisis coste-beneficio funciona bien cuando existe un conjunto de datos perfectamente conocidos y todo tiene un precio definido en dinero —una situación adecuada a los problemas ordinarios de los negocios empresariales—. Pero si volvemos a los problemas económicos, vemos que no existe un precio para los recursos in situ, pues ningún coste monetario elimina la contaminación irreductible, y no existe ningún precio para la vida humana. En este caso, un análisis coste-beneficio sería descaradamente estúpido, incluso considerado como un simple ejercicio con lápiz y papel —tal y como uno puede convencerse por sí mismo leyendo detenidamente la literatura reciente emanada de una fuente tan importante como la Academia Nacional de Ciencias[87]—.

Cuando la oferta se reduce más deprisa que la demanda de

necesidades básicas, la única cosa sana que un economista puede hacer —y debe hacer— es regresar al más elemental principio de economizar, que es actuar sobre la demanda. Esto no significa que todos los esfuerzos por encontrar nuevas vías de aumento de la oferta deban ser desalentados. Sólo significa que uno no debería engañar a la gente haciéndola creer que las innovaciones que marcarán época están a la vuelta de la esquina. El Proyecto Independencia es, en efecto, la ilusión más grande. Ninguna nación, ni siquiera el mundo entero, puede alcanzar la independencia. La causa —como he demostrado anteriormente— es que ningún sistema cerrado puede ser un estado estacionario viable, y mucho menos un estado en crecimiento viable.

Desde luego, actuar sobre la demanda implica un cambio en la escala de valores —una hazaña que ha sido la prerrogativa de la historia asolada por catástrofes de variada naturaleza—. Si no diseñamos todavía, al menos, un borrador de programa bioeconómico que se siga lógicamente de los hechos y las ideas expresadas en este ensayo, erraremos en nuestra misión como estudiosos. Permitiremos, así, que aquellos que ahora escriben los titulares con esquemas sobre el contrabando de entropía adormezcan al mundo con un peligroso sentimiento de seguridad —o de manera similar, remendando el agujero en el codo de la manga con un trozo de tela mayor cortado de los bajos de los pantalones—.

Un programa bioeconómico

A riesgo de ser calificado de utópico (una acusación ante la que me declararía culpable con orgullo y humildad), y a modo de conclusión, sugeriré un viejo programa bioeconómico de mi propia cosecha[88].

Primero, debe cesar completamente la producción de todos los instrumentos de guerra. Es de una hipocresía sin parangón prohibir hacer la guerra mientras se continúan produciendo más y más cabezas nucleares, como amablemente se acuerda en las reuniones

internacionales. La inmensa cantidad de recursos que van a parar a la producción de armamento en el mundo entero podrían, desde luego, ser utilizados en mejores usos.

Segundo, la población de cualquier lugar, no sólo de los países sobrepoblados, debe reducirse a los niveles en que pueda ser alimentada solamente con agricultura orgánica[89]. Desde luego, este paso debe afectar más a los países sobrepoblados. Sólo para hacerse una idea de las dimensiones involucradas en esto, uno debería intentar imaginarse a Estados Unidos tan densamente poblado como Bangladesh. Tendría no menos de cinco mil millones de habitantes, mil millones más que la población mundial actual. Las dudas sobre la capacidad, incluso de la tecnología estadounidense, para alimentar a tal nivel de población son completamente fundadas.

Tercero, los países subdesarrollados deben ser ayudados a eliminar el hambre y sus espantosas consecuencias. La práctica actual, que es seguir enviando comida frente al hambre, no contribuye a ello. El pobre debe ser elevado a un nivel en el que ellos puedan ser alimentados por sí mismos. Y como el hambre, por regla general, habita en los países sobrepoblados, sería un milagro que una agricultura mecanizada con variedades de alto rendimiento funcionara (al menos por algún tiempo). Pero la agricultura mecanizada, en contraste con la agricultura orgánica, es tributaria de una industria muy bien desarrollada. Por eso, el eslogan actual debe ser “fábricas contra el hambre, en vez de comida” —fábricas no para producir bienes de lujo (como los construidos con la antigua ayuda), sino para producir tractores, arados y fertilizantes —.

No hará falta decir que este programa implica no sólo un auténtico ejército de paz, sino también la renuncia de los países ricos a su extravagante modo de vida, por no mencionar su manía del crecimiento. Sin este cambio de verdad, la desigualdad entre los países ricos y pobres es muy probable que aumente, tal y como ilustra la reciente evolución del mercado petrolífero. Como el poder financiero de los países ricos puede fácilmente absorber en la práctica toda la oferta de petróleo, a los países pobres se les deja con menos cantidad. Y esto a pesar de que ellos tienen mucha mayor necesidad de petróleo —para incrementar sus alimentos, no

para malgastar el grueso en caprichos extravagantes—.

Cuarto, mientras esperamos la llegada de una nueva, limpia y abundante fuente de energía para aprovecharla, la población de cualquier sitio debería cesar su exceso de consumo en calefacción, refrigeración, alumbrado o velocidad. Esto principalmente ahorraría energía pero también economizaría materiales. El camino más seguro para lograrlo es rechazar muchas bendiciones de la tecnología bautizadas como progreso. Es este progreso el que justo el otro día nos trajo la nueva cuchilla Gillette que puede ser desechada totalmente cuando las hojas pierden brillo. Uno puede pensar también en la materia-energía despilfarrada en las toneladas y toneladas de material fotocopiado que, cada día, van a para a la basura sin recibir siquiera una oportunidad.

Quinto, la humanidad debe eliminar las ansias por lo "más grande y mejor", por el garaje de dos plazas y otras ridiculeces colosales, así como toda la absurdamente contradictoria galería de artilugios, espléndidamente ejemplificados por el carro de golf. Quizás un día el progreso tecnológico equipare el carro de golf con un palo de golf activado electrónicamente, o incluso diseñado por control remoto, que le permitiría a uno jugar al golf sentado en el sillón de su casa.

Sexto, deberíamos curarnos a nosotros mismos de la influencia de la moda, esa enfermedad de la mente, tal y como la estigmatizó el Abad Fernando Galliani, el famoso economista del siglo XVIII. Como ya señaló ingeniosamente Oscar Wilde, la moda debe de ser una cosa fea si la gente busca cambiarla cada primavera y cada otoño. Ahora hay incluso hasta moda para perros. Aparte de su vaciedad, la moda es probablemente el mayor despilfarro energético en los países desarrollados, e incluso en los no tan desarrollados. Si la gente se curara a sí misma del deseo de cambiar de estilo de ropa cada estación, sus automóviles cada año y el mobiliario de sus casas también cada dos años, los fabricantes tendrían que tener en cuenta las consecuencias y sustituir la obsolescencia planificada por la durabilidad y la reparabilidad.

Séptimo, deberíamos también curarnos a nosotros mismos de otra enfermedad que he denominado el "síndrome de la maquinilla de afeitar". Queremos afeitarnos más deprisa y así tener más tiempo para idear una máquina de afeitar todavía más rápida, de modo que

podamos gastar más tiempo en otra todavía más rápida, y así en un interminable y vacío progreso. Debido a esta enfermedad, no se tiene tiempo para sentir que uno está vivo, quizá ni siquiera para darse cuenta de que uno muere. Lo que Alexis de Tocqueville dijo en 1835 sobre los estadounidenses es de aplicación ahora a otros países, especialmente a aquellos que están en los peldaños más altos de la escalera de la riqueza:

Si sus asuntos privados le dejaban algo de ocio, se sumergía instantáneamente en el torbellino de la política; y si al final de un año de trabajo ininterrumpido se daba cuenta de que tenía unos días de vacaciones, su impaciente curiosidad le hacía deambular por la vasta extensión de Estados Unidos, y viajaba mil quinientas millas en pocos días para sacudirse de encima su felicidad, [así que] la completa felicidad siempre se escapaba de él[90].

Este es sólo un programa mínimo. Pero ni siquiera de un programa completo —de ser aceptado por todos— se podría decir que nos traería la nueva Jerusalén. El ser humano tendrá que luchar con la naturaleza para mantener su existencia exosomática, y esta lucha continuará hasta tener sus ramificaciones en el conflicto social y posiblemente también en conflagraciones internacionales. La única esperanza que tiene la ciencia es atenuar estos conflictos, no eliminándolos con recomendaciones puramente técnicas o económicas, sino con la ayuda de una escala de valores realista. Una diferencia fundamental entre el ser humano y otras especies es que las acciones del ser humano están guiadas por una escala de valores, debido a que sólo el ser humano es plenamente consciente de su existencia.

La humanidad recibió una vez un mandamiento que exigió un cambio en la escala de valores de aquel tiempo: “No matarás”. Más tarde, Jesús nos enseñó: “Ama a tu prójimo como a ti mismo”. No toda la gente, pero sí una aplastante mayoría, los ha obedecido; y, como consecuencia de ello, nuestro común disfrute de esta morada terrestre se ha convertido en algo más tranquilo de lo que podría haber sido de otro modo.

Un precepto apropiado a nuestra época, en la que la lucha del ser humano sobre los recursos naturales amenaza la supervivencia de toda la especie, es el siguiente: “Ama a tu especie como a ti mismo” para que la generación actual y la futura puedan disfrutar de la vida plenamente.

Posiblemente, ningún cuerpo legislativo podría imponerlo por la fuerza, no más de lo que los antiguos mandamientos pudieron haberlo hecho. Los valores pueden cambiarse, si es que se puede, por persuasión, pero no por coerción. Eche un vistazo alrededor del mundo para convencerse de esta verdad[91].

LA CRISIS DE LOS RECURSOS NATURALES*[92]

[...]

El destino prometeico de la humanidad

Sólo podemos llevar a cabo un objetivo material si tenemos una fórmula factible para ello. Calentar una casa con radiación solar o viajar a la Luna son recetas factibles. Sin embargo, no existe todavía ninguna receta factible para realizar un agujero hasta el centro de la Tierra, o para controlar la reacción termonuclear. También deberíamos recordar que, si una receta factible aspira a ser una fiel descripción de un proceso material, entonces debe contener dos categorías distintas de factores. Esta es una distinción que a la epistemología de la economía convencional le cuesta reconocer, al estar dominada por el complejo del análisis de flujos. Pero, en primer lugar, existen los agentes (que son los elementos fondo) y, en segundo lugar, tenemos los elementos flujo, sobre los que precisamente actúan los agentes.

En lo que sigue, entiendo por "tecnología" el conjunto de recetas factibles, de tal manera que existe una receta para cada mercancía —diferente de los recursos naturales— e incluida en el conjunto. Si comenzamos con un stock adecuado de elementos flujo y fondo y de recursos necesarios, como todas las recetas son factibles, la máquina-mundo puede obviamente ser puesta en funcionamiento al menos durante algún tiempo. Pero merece la pena tener en cuenta que, en el sentido usual del término, la tecnología (así definida) no es necesariamente viable. Para ser viable, una tecnología debe ser capaz de hacer mañana exactamente lo que ha hecho hoy. Para lo que aquí nos interesa, podemos hacer abstracción de la posibilidad real de que el factor maltusiano pueda ocasionar la interrupción de

una tecnología viable. Sin embargo, no deberíamos ignorar el hecho de que el agotamiento de algunos recursos ambientales que son vitales tendría, obviamente, el mismo efecto. Pero, si los recursos naturales necesarios están todavía disponibles y todas las fórmulas técnicas son factibles, ¿cómo puede entonces una tecnología no ser viable?

Para aclarar este enigma, utilizaré un ejemplo analítico simple. Considérese una tecnología en la que los martillos de piedra son moldeados, a partir de piedras en bruto, por otros martillos de piedra (primera receta factible). Los martillos de piedra se usan también para cascar nueces de las que se alimenta la desnuda población. Dado un abundante stock inicial de martillos de piedra, la comunidad puede comenzar golpeando y moldeando martillos, además de cascar suficientes nueces para satisfacer su dieta. Esta tecnología puede sin embargo no ser reproducible al cabo del tiempo si, por ejemplo, un martillo de piedra no puede acabar moldeando otro martillo de piedra durante su vida útil. Obviamente, al final el stock inicial de martillos de piedra se irá reduciendo hasta quedar en nada, y la correspondiente tecnología dejará de funcionar.

Supongamos ahora que el martillo de piedra surgió como una invención en una era de tecnologías más simples, en la que únicamente se utilizaban determinadas piedras para cascar nueces. Si el nuevo martillo de piedra, moldeado por esas determinadas piedras, pudiera cascar más nueces que las piedras seleccionadas utilizadas para su producción, entonces esta invención podría significar una mejora en la eficiencia global. Pero ¿qué ocurriría si este no es el caso, y las piedras seleccionadas lograran cascar más nueces que el nuevo martillo de piedra? Precisamente este es el caso de algunos nuevos inventos. Todavía con demasiada frecuencia, los inventores presumen de que sus invenciones representan no sólo una ampliación del conocimiento, sino también un progreso técnico, incluso aunque el método utilizado previamente a ese invento siga siendo más productivo. Desafortunadamente, somos propensos a creer tales afirmaciones porque fracasamos a la hora de ver la diferencia entre el éxito de un experimento puro —por ejemplo, poner un hombre en la Luna, para el que no se tiene en cuenta ni el dinero ni la energía necesarias— y

una innovación que ahorra recursos.

Existe otro modelo que todavía es más esclarecedor a este respecto. Pensemos en una tecnología que consista, por ejemplo, en martillos-alfa moldeados a partir de piedras seleccionadas. A continuación se produce una invención de martillos-beta, que pueden ser moldeados con la ayuda de los martillos-alfa a partir de piedras en bruto, en vez de con piedras seleccionadas. Probablemente la cuestión ahora es que la invención ha abierto una vía a la utilización de recursos alternativos, una idea que también ha sido tenida en cuenta en estos tiempos.

La cuestión pertinente, sin embargo, es si la invención puede ahorrar recursos escasos —piedras seleccionadas—. No existe un principio sobre el que podamos apoyarnos para dar una respuesta general. Los martillos-alfa utilizados en la producción de los martillos-beta pueden muy bien ser capaces de cascar más nueces que los anteriores. Según un argumento que presenté hace unos años, la pauta de este último caso se adapta al ejemplo de los paneles solares, donde todos producen menos energía disponible que la que actualmente se usa en su fabricación. El hecho de que algunos encuentren rentable producir paneles solares para calentar los hogares y que otros los compren no es motivo para refutar mi argumento. Tal y como muestra la simple álgebra, el hecho de que estos paneles impliquen un excesivo consumo de combustibles fósiles no evita que tengan un precio de mercado válido. Esto no significa que el coste de esos paneles no sea un síntoma de su actual inutilidad tecnológica, pues razonar sobre la eficiencia de una tecnología sobre la base de los precios actualmente predominantes está lleno de dificultades. El caso más llamativo es el argumento de que, si el precio del petróleo de origen mineral aumenta más allá de los costes actuales del petróleo con origen en la biomasa, entonces las tornas se cambiarían.

Recetas factibles

frente a tecnologías viables

Denis Hayes, un estudioso extremadamente prudente, afirmó hace unos años que la tecnología solar está aquí, y que podemos usarla ya. Las anteriores observaciones muestran que sólo algunas recetas factibles están disponibles aquí y ahora, pero no tenemos todavía una tecnología viable. Para tener una tecnología viable, algunos tipos de paneles solares deberían reproducirse a sí mismos con la única ayuda de la radiación solar. El hecho es que tal hazaña no se ha conseguido ni siquiera en una planta piloto. Aunque representaría claramente algún ahorro en términos netos —y aunque la Agencia de Investigación y Desarrollo Energético (ERDA) y otras instituciones han gastado importantes sumas en la venta de energía solar como una alternativa— ésta es una prueba suficiente de que la tecnología solar no es todavía una realidad. Así las cosas, todas las recetas solares factibles son parasitarias de la actual tecnología y, al igual que otros parásitos, no podrían sobrevivir a la desaparición de su huésped.

La esencia de esta argumentación se puede aplicar a cualquier fuente de energía denominada alternativa. El mundo posee en la actualidad un enorme parque de instalaciones industriales que puede ser utilizado para un amplio espectro de productos. Pueden ser utilizados, por ejemplo, para producir gasolina a partir del alcohol, lo que se anuncia ahora como la alternativa de ahorro más segura. Pero nadie parece preguntarse si la gasolina así producida será suficiente para reproducir el cimiento material del proceso que la ha hecho posible.

Si esta cuestión se planteara a todos los procedimientos conocidos, se entendería el por qué los combustibles fósiles han representado verdaderamente una extraordinaria bonanza que ha llegado tan lejos. Las tecnologías viables basadas en la radiación solar o en las reacciones nucleares requieren, para darles forma, de una inmensa cantidad de materiales —la primera para concentrar su baja densidad, y la última para restringir su alta y enorme densidad—. Únicamente los combustibles fósiles pueden ser utilizados con instalaciones más pequeñas, y en algunos casos virtualmente sin instalación alguna. En tiempos de crisis, como el actual, cuando numerosas voces —tanto interesadas como infundadas—

probablemente distorsionan nuestra perspectiva, es imperativo seguir manteniendo viva esta cuestión. Sobre todo porque, según todo lo que he mencionado, parece ser que la materia es un factor tecnológico tan crucial como la energía.

Está fuera de toda duda que la actual bonanza terminará bastante pronto. Dar vueltas alrededor de los ordenadores con la esperanza de encontrar o predecir el momento en que ésta terminará, o cuál podrá ser su secuela, es un error. Las incertidumbres históricas de este tipo no pueden ser anunciadas por la radio. Sólo la evolución exosomática puede revelarnos la naturaleza y el posible desenlace de la actual crisis. Pero no debemos restringir nuestro análisis sólo a la Era de los Combustibles Fósiles, tal y como han hecho Harold Barnett y Charles Morse. Lo que ocurrió durante ese periodo especial no puede ser extrapolado más allá. El futuro será seguramente diferente si una fuente de energía distinta se convierte en la base de nuestra tecnología.

Sólo dos innovaciones

Las espectaculares y recientes innovaciones nos han impresionado tanto que no nos hemos dado cuenta de que únicamente dos innovaciones —por otra parte bastante antiguas— han representado verdaderamente un paso crucial en el evolución exosomática.

La primera fue descubrir cómo encender y usar el fuego. El fuego representa una conversión de energía cualitativa: la conversión de energía química procedente de materiales combustibles en energía calorífica. Además, el fuego conlleva una reacción en cadena: solamente con una pequeña llama podemos causar el incendio de un bosque entero o, mejor dicho, de todos los bosques. El fuego no sólo permitió al ser humano mantenerse caliente y cocinar, sino, sobre todo, fundir y forjar los metales, cocer ladrillos, cerámicas y cal. No debe sorprender que los antiguos griegos atribuyeran a Prometeo —que era un semidiós, no un mortal— el haber traído el fuego a los hombres. Podemos denominar Prometeo I —así debería

ser llamada— a la tecnología inaugurada por Prometeo como la Edad de la Madera. Durante siglos, la madera sirvió como la única fuente de energía calorífica, de modo que, con los continuos desarrollos industriales, los bosques comenzaron a desaparecer a gran velocidad. Durante la segunda mitad del siglo XVII, la tala de árboles había sido regulada, incluso restringida, tanto en Inglaterra como en el continente. El carbón era ya conocido como fuente de calor, pero un obstáculo impidió la sustitución de la madera por éste en la industria. Las minas se inundaban rápidamente y la energía necesaria para drenar el agua no estuvo disponible a partir de las fuentes utilizadas en aquella época —trabajo humano, animales de tiro, viento y molinos de agua—. La inminente crisis fue completamente análoga a la del momento actual: la tecnología basada en la madera se quedó sin combustible.

La segunda fue la ingeniosa e impredecible solución traída por otro Prometeo, Prometeo II —aunque en realidad, en esta ocasión, fueron dos mortales, Thomas Savery y Thomas Newton, los que la trajeron—. Inventaron la caldera, que, al igual que el fuego, ha permitido al hombre realizar una conversión energética cualitativamente novedosa: la conversión de energía calorífica en energía motriz. También, como el fuego, la caldera lleva una reacción en cadena. Con un poco de carbón y una caldera podemos extraer más carbón y algunos minerales con los que fabricar más calderas con las que, a su vez, poder producir más y más calderas...

El regalo de Prometeo II permitió al ser humano obtener energía motriz de una fuente más intensiva —el fuego alimentado por los combustibles minerales—. Todavía vivimos principalmente de esa tecnología, caracterizada por la producción de trabajo a partir de calor. En el origen, la misma electricidad procedía del fuego. Ahora, el problema es si un nuevo Prometeo puede llegar a ayudarnos a salir de la crisis, de igual manera que Prometeo II nos ayudó a superar la crisis de la Edad de la Madera. El reactor reproductor, que convierte los materiales fértiles en combustibles fisionables, podría ser el tercer regalo prometeico si su realización práctica no estuviera todavía rodeada de grandes riesgos, e incluso inconvenientes técnicos. En efecto, ha habido dudas recientes de que la planta física del reactor reproductor pueda reproducirse a sí misma, como ocurría en mi ilustración del martillo anterior. Las

grandes esperanzas que una vez rodearon a la energía termonuclear controlada casi han desaparecido. Y no hay que excluir en absoluto que la energía termonuclear, al igual que la pólvora y la dinamita, pueda servir sólo para fabricar bombas.

La situación puede cambiar de repente. Y no es pesimista apuntar que nadie puede estar seguro de lo que ocurrirá, ya sea en un sentido u otro, ni tampoco lo puede estar sobre la naturaleza del futuro regalo prometeico (si éste llega alguna vez). A saber: ni Galileo, ni Huygens, ni el mismísimo Newton fueron capaces de pensar una solución a la crisis de la Era de la Madera. Tampoco podemos ordenar la llegada de Prometeo III, tal y como el antiguo vicepresidente Mondale pareció intentar cuando en la Conferencia de Gobernadores dijo: “El país que desarrolló el plástico sintético de la noche a la mañana durante la Segunda Guerra Mundial, [y] que puso al hombre en la Luna, debe crear ahora un Proyecto Apolo para producir combustibles alternativos”.

La única estrategia razonable —decir “racional” sería de una arrogancia intelectual completa— es el ahorro y la conservación. Con esto ganaríamos tanto tiempo como fuera posible para esperar la llegada de un incierto Prometeo III, o cambiar si se producen grandes convulsiones sociales desde el actual y alto nivel de actividad industrial, a uno probablemente análogo, aunque no idéntico, al de la pasada Edad de la Madera. En contra de lo que podamos creer, o se nos ha hecho creer, el ahorro y la conservación no tienen que llevar a una insoportable reducción de nuestras comodidades básicas, incluso a pesar de la necesaria reducción de las desigualdades exosomáticas entre naciones. Hemos vivido durante milenios sin carritos de golf, sin garajes de dos plazas, sin reactores Concorde. Cabe esperar fervientemente que podamos también vivir sin cualquier clase de medios que sirvan para matarnos a nosotros mismos.

Seguramente, el ahorro no es sólo asunto de unos pocos países. Es un programa para toda la especie humana que puede llevarse a cabo si el Homo sapiens sapiens es realmente sapiens. De otro modo, no necesitaremos un Prometeo para que nos traiga un nuevo fuego, sino uno para resucitarnos a nosotros mismos de nuestras propias cenizas.

BIOECONOMÍA Y ÉTICA*[93]

El primer análisis sobre la forma en que la gente se relaciona a través del intercambio económico con el resto de seres humanos no fue el Oeconomicus de Jenofonte, o la (en buena parte espuria) Oeconomica de Aristóteles, sino la Ética a Nicómaco del mismo Aristóteles. El pensamiento de Aristóteles establecía que la justicia debía ser respetada en los intercambios. En aquel tiempo, su reputado principio del intercambio justo se perpetuó a lo largo de los siglos a través de la ética cristiana, que insistió en que el intercambio no debería ser una ocasión para promover el interés propio dañando el interés del prójimo. La economía política retuvo esta perspectiva autóctona durante siglos, pero a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII, la doctrina utilitarista de Platón fue resucitada por algunos filósofos sociales, primero en Italia y Francia, y luego en Gran Bretaña —Claude Helvètius, Marchese Cesare di Beccaria, Pietro Verri, William Paley y Joseph Priestly—. Debido a que la sociología de la ciencia a veces funciona, Jeremy Bentham es ahora considerado como el origen del utilitarismo, aunque en una ocasión reconoció que fueron las palabras de Beccaria las que le pusieron tras la pista correcta. Pero Bentham seguramente debe de haber conocido lo que el primer arquitecto del utilitarismo dijo sobre el asunto. Y, en efecto, alguna de las que pasan por ser las ideas más agudas de Bentham, a saber, que "la naturaleza ha situado a la humanidad bajo el gobierno de dos soberanos estrictos el dolor y el placer"[94], no son sino una leve reformulación de la frase de Platón: "Cada uno de nosotros tiene en su corazón dos consejeros [...]: a uno lo llamamos placer y al otro dolor"[95]. Lo mismo es cierto para otra agudeza de Platón: "Si no tuvieras el poder de calcular, no serías capaz de calcular el placer futuro, y tu vida sería la vida no de un hombre, sino de una ostra de Pulmo marinus"[96], que es un pasaje evocado por Bentham como "todos los hombres [incluso las mujeres] calculan" con placeres y dolores[97].

Pero, a pesar de este enorme barullo causado por las enseñanzas de

Bentham, la utilidad no se convirtió en la base efectiva de la ciencia económica hasta mucho después. La sombra de Adam Smith y David Ricardo era todavía demasiado alargada. Y no sólo esto, sino que la escuela clásica era todavía aristotélica en el verdadero sentido de este término: las cosas se intercambiaban según el trabajo incorporado en ellas. La teoría clásica del valor era tanto física (el valor es una propiedad objetiva de los objetos) como social (por su relación con el trabajo).

Lo que llevó a la economía política a convertirse en la "ciencia del placer" —tal y como Herman Gossen (1854), que fue el primero y también más penetrante economista utilitarista, quiso llamar a su nuevo punto de vista— fue, en definitiva, el desarrollo económico traído por la Revolución Industrial. En la segunda mitad del siglo XIX, el nivel de este desarrollo fue tal que el individuo estaba en la posición de elegir entre esto o aquello, debido a que esto le proporcionaba más placer que aquello. Los problemas sociales entre iguales o desiguales tendieron ya, lenta pero constantemente, hacia la disolución. Las comunidades de espíritu e interés se convirtieron en sociedades civiles en el sentido de Hegel. Naturalmente, la naturaleza ética original de la ciencia económica desapareció en las pocas décadas que median entre la Theory de Jevons y el Cours de Pareto. Algunas de las mentes más capaces e interesadas en la nueva ciencia emplearon todo su talento en convencer al público en general de que no existían fundamentos para comparar el placer (o el dolor) de un individuo A con el de cualquier otro individuo B. Esta idea cuajó tempranamente porque la audiencia receptora era gente acaudalada. Ellos comprendieron que no existe forma de establecer si A recibe mayor o menor placer de la posesión de un gramófono que B. Pero nadie que participe de esta creencia preguntó nunca lo que hubiera hecho el Barón de Rothschild con un dólar si hubiera tenido solamente uno[98].

Ésta es la forma en que la ciencia económica pasó de ser una disciplina social a convertirse en una disciplina preocupada por el individuo en singular, por Robinson Crusoe, como ha sido acusada certeramente por sus críticos. El por qué la etiqueta de "economía social", preferida por los asistentes a este congreso, sería de otro modo redundante descansa en el hecho de que la economía actual —la economía estándar, como me gusta denominarla— reduce todo

el proceso económico al comportamiento de un individuo particular, por lo que se necesita utilizar el término economía social para así señalar la diferencia esencial.

Preguntando a un economista convencional si le preocupan, por ejemplo, las cuestiones relativas a la seguridad social o a la crisis energética, descubriréis inmediatamente que en su respuesta os arrastrará hacia el mercado. El mercantilismo, la doctrina de que el valor consiste "en dinero, oro o plata"[99] fue abandonada hace tiempo, seguramente incluso antes de que fuera establecida. Pero la epistemología mercantilista nunca ha sido tomada de forma tan acérrima por ninguna doctrina económica como por la economía estándar.

El mercado, donde cada uno se supone que es libre para comprar y vender, es todo lo que existe en el proceso económico. Sin embargo, este cambio de horizonte afectó también a nuestra filosofía de lo que es la vida y lo que debería ser. La tradición de la ética socrática según la cual los humanos son potencialmente capaces de distinguir dialécticamente entre el "bien" y el "mal" fue desafiada. Una nueva filosofía (todavía fortaleciéndose) sostuvo que la validez del "deber" tendría que establecerse por la comprensión (la capacidad intelectual humana que la Ilustración degradó promoviendo al primer puesto a la Razón) o descartarla completamente.

El disparo de salida fue dado por David Hume, quien, deberíamos tener en cuenta, fue un precursor de la filosofía utilitarista[100]. Lo que dijo representa la nueva filosofía ética en su versión más aguda: "He notado siempre que el autor [de un sistema] procede durante algún tiempo según el modo corriente de razonar, y establece la existencia de Dios o hace observaciones concernientes a los asuntos humanos, y de repente me veo sorprendido al hallar que en lugar de los enlaces usuales de las proposiciones es y no es encuentro que ninguna proposición se halla enlazada más que con debe o no debe. Este cambio es imperceptible, pero es, sin embargo, de gran consecuencia, pues como este debe o no debe expresa una nueva relación o afirmación, es necesario que sea observada y explicada y al mismo tiempo debe darse una razón para lo que parece completamente inconcebible, a saber: cómo esta nueva relación puede ser una deducción de otras que son totalmente diferentes de

ella”[101].

Con la puerta abierta de este modo, la teoría ética se convirtió en la mayor batalla campal de todos los esfuerzos intelectuales. Ahora había naturalistas, antinaturalistas, objetivistas, subjetivistas, relativistas, pragmáticos, y también ética existencialista —por nombrar sólo aquellos de los que se ha discutido con gran vigor—. Sólo Kant admitió que la moral y la causalidad eran entidades diferentes, pero también argumentó que la moral tiene una existencia tan válida, desde el punto de vista de la razón práctica, como la causalidad. Kant no quiso proponer ningún mandamiento ético. En vez de eso estableció un famoso criterio —su imperativo categórico[102]— que debía ser satisfecho por cualquier precepto. Según esto, una regla de conducta (una máxima) es moral si y sólo si “se pudiera querer al mismo tiempo que esa regla para uno mismo se convirtiera en una ley universal”[103]. De otro modo, la máxima “se destruiría a sí misma tan pronto como tuviera que ser universal”[104]. Curiosamente, Kant proporcionó varios ejemplos de máximas autodestructivas, pero confundió su capacidad para pensar una máxima exitosa, incluida la regla de oro[105]. Podemos recordar a este respecto la ocurrencia de Bernard Shaw: no hagas a otros lo que te gustaría que te hicieran a ti —pueden tener gustos diferentes —. Kant objetaba que esta regla no nos proporciona lo que uno debería hacer para sí mismo.

Seguramente, el problema de encontrar una regla exitosa es un camino lleno de espinas. Sería incluso más duro compartir la opinión de algunos participantes muy capaces en el debate, que sugieren que el juicio moral adolece de validez objetiva, que los valores morales no son absolutos sino relativos a las emociones que expresan[106]. Por lo tanto, las reglas morales son totalmente inútiles.

Ahora estoy en posición de establecer un punto importante sobre el que apoyar mi tesis. Este punto es que los preceptos éticos, lejos de ser un producto endeble de las emociones, son tan necesarios para el buen funcionamiento de las sociedades humanas como una apropiada dotación de recursos naturales. Y precisamente en una forma como la propuesta en el mensaje de Max Planck. Ahora bien, el mismo Kant hizo notar la necesidad de “tratar a la humanidad en cada caso como un fin, ya sea en la misma persona, o en otra

diferente, y nunca como un medio"[107]. En los últimos tiempos, algunos biólogos consumados, como Herbert Spencer, Julian Huxley, y, en particular, C. H. Waddington, expusieron un criterio para obtener reglas éticas apropiadas que era diferente al imperativo categórico kantiano. Ese criterio es la facultad de la máxima ética para sustentar la vida de la especie humana. Es este punto de vista el que elaboraré e incluiré como un pilar de mi tesis en esta conferencia. Pero antes de seguir adelante, déjenme, en primer lugar, enfatizar que el criterio biológico para un precepto ético no se sigue del imperativo categórico kantiano, aunque tampoco lo contradice. En realidad lo va a satisfacer. En segundo lugar, a pesar del riesgo que implica disentir de una idea básica de un pensador tan grande como Kant, no sostendré que una regla ética adecuada tenga que ser inmutable en el espacio y en el tiempo (en contra de lo que nos enseñó Kant). Si adoptamos un criterio biológico, entonces es algo completamente necesario el que una ética adecuada deba cambiar continuamente, al calor de la evolución social y biológica de las sociedades humanas. Pero volveré sobre esta cuestión en un momento más propicio.

***

Ya mencioné antes la evolución de los puntos de vista sobre la naturaleza y la justificación de la ética. Sin embargo, esta evolución circular no tuvo ninguna influencia en el pensamiento económico. La ética y la economía política ya estaban divorciadas desde hacía tiempo. Las protestas ocasionales no fueron exitosas a la hora de causar algún daño a la economía ortodoxa —algunas como las de Carlyle se perdieron en el barullo del mercantilismo económico, y otras, como las de Karl Marx, se convirtieron en una poderosa llamada de atención al mundo—. La economía estándar creció constantemente dentro de la disciplina que es hoy en día, caracterizada por estar al margen de cualquier consideración ética. La ética es un problema que surgió sólo con el advenimiento de la sociedad, esto es, después de la disolución de la vida familiar o de clan, dentro de una producción y distribución que ya estaban organizadas socialmente. Pero no dejemos de poner de relieve que

un modo de existencia socialmente organizado puede funcionar casi perfectamente si ningún precepto de obediencia o ético. La evidencia palmaria de ello es la vida de las hormigas, las abejas y las termitas. La razón por la que deberían ser diferentes a nosotros a este respecto constituye un problema iluminador de cara a la crisis en la que la especie humana está inmersa —aunque tal vez espasmo biológico sería un término más adecuado—, con un gran alboroto fomentado por un tecnocratismo irresponsable y vociferante.

La respuesta a esta cuestión es que los insectos sociales evolucionan hacia la vida social a partir de la evolución biológica, esto es, por medio de las mutaciones de su organismo endosomático (es decir, de los órganos con los que cualquier organismo está dotado por su naturaleza). Como consecuencia de ello, desde su nacimiento cada individuo de esta especie se encuentra destinado a realizar un papel social especial, el único que le gusta desarrollar. También podemos suponer que es el "placer", y no una compulsión externa, lo que incita a cualquier abeja obrera a defender la colmena, aun a riesgo de perder su propia vida. No es consciente ni siquiera de ese riesgo (como podemos serlo nosotros en situaciones similares). Sin embargo, los humanos han llegado a la vida en sociedad por medio de una senda completamente diferente, a saber: la evolución exosomática.

Todas las especies, incluida la nuestra, están sujetas a una evolución endosomática que permite la modificación de los órganos para hacer la vida más fácil para el individuo (aunque, en ocasiones, la hace más difícil). Muchas especies, no sólo nosotros, utilizan órganos exosomáticos, órganos que no pertenecen a su estructura corporal. Los castores construyen diques, algunos simios y monos utilizan piedras y palos, y los pájaros construyen nidos con hojas y ramas. Por ejemplo, utilizamos cuchillos para cortar la carne mejor, en vez de utilizar nuestras uñas y dientes; aunque únicamente la especie humana ha alcanzado una etapa en la que fabricamos herramientas para fabricar más herramientas, etc., tal y como Schumpeter describió la actividad productiva basada en el equipamiento de capital.

Debido a nuestra singular evolución exosomática ahora somos capaces no sólo de hacer la mayoría de las cosas mucho mejor que

sin esas herramientas —podemos cortar mucho mejor que con nuestras uñas, o correr más rápido que sólo con nuestras piernas—. También podemos hacer muchas cosas que no podríamos realizar únicamente con nuestros órganos endosomáticos. Podemos volar tan lejos como la Luna, y ver lo que está sucediendo en este momento al otro lado de la Tierra. Sin embargo, este desarrollo milagroso no ha sido una bendición inocente. La producción socialmente organizada ha conllevado una división de los papeles sociales de cada uno y del producto de tal división: el conflicto social entre una nueva clase —la clase que planifica, organiza, supervisa y controla la producción— y la clase de aquellos que simplemente participan en ese proceso. Éste es el conflicto entre los "gobernantes" y los "gobernados".

Ahora bien, nuestra irreductible dependencia de recursos específicos que son cruciales para la producción de órganos exosomáticos, es, sin duda, una dificultad más seria. Estos recursos no sólo suponen energía —como piensan los neófitos en esta materia—, sino también un amplio espectro de materiales. Es difícil pensar que la especie humana pueda retornar a una forma de vida primitiva en la que los recursos minerales procedentes de las entrañas de la Tierra no estuviesen explotados todavía. Pues lo que distingue un proceso evolutivo de un proceso mecánico es la irreversibilidad del primero frente a la reversibilidad del segundo.

Por eso la actividad económica es sólo una extensión de la actividad biológica. Los órganos producidos se utilizan y difunden para sostener y modificar un nuevo tipo de vida. Y visto desde este ángulo, el laberinto económico es, en esencia, un laberinto bioeconómico, ya que implica la evolución y la existencia del ser humano como especie, no como individuo que solamente busca maximizar su utilidad o su beneficio.

Incluso una lectura superficial de la historia basta para poner de relieve la lucha económica de nuestra especie frente a la cicatera naturaleza. La gente se ha mudado de un continente a otro porque los recursos locales, de un tipo o de otro, habían menguado hasta quedar en nada después de décadas de uso, esto es, de su transformación en residuos. En esta lucha, hemos inventado innumerables procesos, tan numerosos que, tal vez, se necesitaría

toda una vida para nombrarlos a todos. Son el gran orgullo de nuestro poder intelectual.

[....]

La conclusión es que ahora nos enfrentamos a un nuevo problema ético, un problema que no deja lugar a ideas alocadas. La nueva ética, fundada en el factor más importante de la existencia de la especie humana (como especie exosomática e irreversible), no necesita ser legitimada por ninguna otra razón que no sea asegurar la supervivencia de la humanidad como especie biológica.

La estrategia de llevar el tiempo lo más lejos posible implica una estricta conservación y ahorro de los recursos, tanto como sea posible. Esta política significa dos acciones paralelas. En primer lugar, debemos eliminar el despilfarro causado por los armamentos de todo tipo. Para decirlo alto y claro: no querer hacer la guerra mientras se continúa fabricando armamentos en la retaguardia es una actitud totalmente hipócrita. Seguramente debemos también desembarazarnos de esa enfermedad de nuestras mentes que nos hace anhelar lo extravagante, los artefactos más grandes y mejores. Incluso, algunos utensilios deberían ser gradualmente abandonados. Estos mandamientos no sólo se refieren a los grandes poderes o a las tierras de abundancia: los lujos extravagantes crecen en todos los sitios. En segundo lugar, la población, que ahora crece a una velocidad anormal debe adoptar, sin demora, una política que lo remedie, pues el hecho sorprendente es que incluso la adopción de una tasa de natalidad de simple reemplazamiento no interrumpiría el aumento de su número. Sin esta segunda política, no puede haber solución a la eliminación de la desigualdad exosomática, lo que debe ser un objetivo esencial incluso para una política de ahorro y conservación.

Pero no ignoro la inmensa dificultad que una política como ésta conlleva. Confío en que sus fundamentos tengan pleno sentido para cualquiera que se quiera acercar a examinar mi argumento. Aunque el gran e inmenso problema es que la conservación no es sólo una tarea para una parte de la población, ni para un país en concreto, ni siquiera para un grupo de países. La conservación es un trabajo para la humanidad entera, que requiere una completa cooperación para eliminar todos los armamentos, lujos y desigualdades exosomáticas.

Tal y como lo veo, estamos asolados por una crisis energética. De esto no hay ninguna duda. Pero la crisis mayor es la crisis de nuestra sabiduría. El nombre de nuestra especie es Homo sapiens sapiens y podemos estar doblemente informados, pero no ser suficientemente sabios. Y nuestro destino depende mucho más de nuestra sabiduría que de nuestro conocimiento. Recordemos que durante el embargo petrolífero de 1973-74 algunas personas, que se dieron cuenta de que no era capaces de obtener gasolina antes de que se cerraran los surtidores, utilizaron sus revólveres para conseguir llegar a los surtidores abiertos antes que otros. Así las cosas, no debemos evitar la siguiente pregunta: ¿qué haría un poder provisto de cabezas nucleares si llega el momento en que no hay energía suficiente para mantener funcionando su sistema exosomático?

Con Aristóteles la economía surgió originalmente de la ética. Las tornas parecen haberse cambiado desde entonces: una nueva ética surge de la bioeconomía. En un tiempo en que las gentes solían matarse unos a otros, el interés de la especie humana por preservarse a sí misma llevó a Moisés a bajar de la montaña con el siguiente mandamiento: “No matarás a tu hermano”. La gente no podía aceptar entonces una contención más estricta. Más tarde, también en interés de la buena vida social, los humanos fueron emplazados por otro mandamiento más severo: “Ama a tu prójimo como a ti mismo”. El mandamiento para nuestra actual fase evolutiva es simple, y de hecho es una extensión natural de los otros dos: “Ama a tu especie como a ti mismo”.

Por supuesto, muchos probablemente me acusarán de ser utópico. Si alguien lo hace, me declararía culpable con un inmenso orgullo. No conozco ninguna gran ayuda para la humanidad que no se hubiera considerado en otro tiempo como un burdo pensamiento utópico.

Ahora tenemos innumerables instituciones que, con o sin la ayuda de ordenadores, están ocupadas en destilar una y otra vez aspectos de la crisis bioeconómica —o de la crisis energética, como ellos la llaman—. Hoy en día, ningún hallazgo de este popular esfuerzo podría ayudarnos a resolver o, al menos, a atenuar esta crisis radicalmente. Sólo una sostenida y vigorosa campaña difundiendo el mandamiento de la nueva ética podría ayudar. Pasaríamos

entonces de una ecología de salón a una ecología militante, que buscaría alcanzar la plenitud humana de la sabiduría, en vez de consentir infinitas “prédicas” sobre cómo será el mundo en 1990, 2000 o 2030. Cuando fui invitado a ofrecer mi opinión al presidente de la Comisión para el Informe de 1980 respecto a lo que la Comisión debería hacer, mi consejo, seguramente antipático, fue que había que tener muy presente que el mundo no iba a terminar en 1990.

MITOS SOBRE LA ENERGÍA Y LA MATERIA*

El progreso tecnológico nunca ha proporcionado a la humanidad fuerzas físicas tan milagrosas como durante las décadas pasadas[108]. Ahora podemos viajar a la Luna. Podemos ver a todo color lo que está ocurriendo incluso en las antípodas de donde nos encontramos. Para hacerlo posible, la información debe ser transmitida de un lugar a otro a la velocidad de la luz, y las personas poder viajar a una velocidad comparable a la del sonido. La moderna tecnología ha reducido, efectivamente, los límites de nuestra morada terrestre. Ahora podemos contemplarla como si sólo fuera un pequeño patio trasero. Pero a pesar de los maravillosos logros de la ciencia y la tecnología modernas, el cuadro del mundo que tal descripción conjunta ofrece nos revela que la humanidad nunca ha estado en una situación más crítica en toda su historia conocida. Hablamos de esta o aquella especie amenazada, pero no parece que nos demos cuenta de que, quizás, nosotros somos la más amenazada de todas.

La tecnología también nos permite calcular, en unas pocas horas y con la ayuda de un ordenador, un millón de decimales del número π o incluso más si quisiéramos. Leibniz, el hombre que descubrió la fórmula sobre la que se basa el trabajo del ordenador, habría necesitado no menos de 30.000 años para realizar la misma operación. Pero ni siquiera todos los ordenadores del mundo nos pueden ayudar a hallar lo que ocurrirá con la especie humana durante las próximas décadas, por centrarnos sólo en la duración probable de la vida humana. ¿Cuánto tiempo podemos creer que durará la vida de la especie? ¿Será más o menos larga que la de los dinosaurios, que duraron 120 millones de años?

Intentar proporcionar una respuesta a esta pregunta, incluso tentativa, es una tarea imposible. El hecho es que no sabemos qué es lo que ha causado la desaparición de otras especies ni incluso por qué algunas especies parece que se van a extinguir mientras las estamos viendo. Si podemos predecir de manera aproximada cuánto vivirá un perro en promedio y en qué momento terminará muy

probablemente su vida, es únicamente porque hemos observado en repetidas ocasiones la vida de un perro desde el nacimiento hasta su muerte. Pero no hemos tenido —y nunca tendremos— la oportunidad de observar otra especie similar a la nuestra que ya haya nacido, envejecido y se haya extinguido, incluso aunque existan un número inmenso de ellas en la vastedad del universo. Ésta es la dificultad para cualquier estudioso de la evolución, ya sea en la biología, la sociología o la tecnología[109].

Podemos alardear del poder de la ciencia tanto como queramos, y no sólo tanto como deberíamos propiamente hacerlo. Sin embargo, todo lo que la ciencia puede hacer ante este problema particular es permitirnos adoptar una visión sobre nuestra existencia que no sea a vista de pájaro, sino a vista de lombriz, a ras de suelo. Como una lombriz, sólo podemos ver extremadamente poco de lo que hay frente a nosotros, y con frecuencia ni siquiera eso.

En este momento, tal verdad es quizá más importante que en cualquier otra época de la historia. Ya seamos optimistas o pesimistas, actualmente todos reconocemos que no es algo ocioso la cuestión de si la humanidad será capaz de mantener por mucho tiempo el nivel de confort industrial al que ahora somos irremediablemente adictos. Testigo de ello son los aparentemente innumerables expertos en energía que se explayan con pasión sobre el problema con mayor o menor frecuencia, contribuyendo así a la confusión del público en general.

El papel de los recursos naturales

La gente de todas las épocas ha sabido que los recursos son agotables. Las minas de hierro y cobre han sido abandonadas continuamente debido a que al final las leyes del metal no eran lo suficientemente ricas. Tomemos como ejemplo los famosos yacimientos de petróleo Ploesti en Rumanía, que constituyeron un objetivo estratégico importante durante las dos últimas guerras mundiales y que, en una ocasión, situó a Rumanía en el tercer lugar

del ranking de países productores de petróleo. Hoy están completamente agotados. Y lo que ocurrió con aquellos yacimientos pasó también en muchos otros casos (los yacimientos de Pensilvania son también un buen ejemplo), y ocurrirá al final con todos los yacimientos de petróleo.

La importancia de los recursos naturales en la vida de nuestra especie está escrita sobre la faz de nuestra historia. La gran migración que desplazó tribu tras tribu desde Asia a Europa durante los primeros mil años de nuestra era se desencadenó por el agotamiento de los nutrientes del suelo después de miles de años de pastoreo y sobrepastoreo. Todas las guerras han sido libradas por la posesión o el control de recursos naturales, incluso aunque el grito de combate fuera ideológico. Las guerras "limitadas" que en la actualidad se desencadenan en un lugar y luego se abandonan en otro no ponen en tela de juicio esta verdad.

A pesar de todo esto, la economía moderna no ha prestado atención al papel que desempeñan los recursos naturales en el proceso económico. Sus servidores han estado influidos por el dogma mecanicista que dominó el pensamiento científico hasta casi finales del siglo pasado. Conviene recordar que W. Stanley Jevons afirmó orgulloso su objetivo de erigir una ciencia de la economía como una "mecánica de la utilidad y del interés propio". Sin embargo, los economistas convencionales pueden haber estado cegados también por la singular opulencia de los últimos cien años; opulencia que fue posible gracias a un avance tecnológico sin parangón apoyado, a su vez, por una fantástica bonanza de riquezas minerales. Pero mientras que los economistas pueden invocar tales circunstancias atenuantes para justificar su orientación en el pasado, nada puede absolverlos de persistir en la misma posición y defenderla con argumentos sin sentido que bordean el mito.

El mito del mecanismo de los precios

El principal mito es la creencia en el poder total del mecanismo del

mercado. Uno no necesita preocuparse de nada en relación con la crisis ecológica porque el mecanismo de mercado, si está bien supervisado como para que funcione correctamente, hará frente a cualquier tipo de escasez. En una forma de autodefensa, algunos economistas han argumentado incluso que el mecanismo del mercado prevendrá el agotamiento de los recursos porque llegará un momento en que sus precios serán tan altos que nadie podrá permitirse comprarlos por más tiempo. Otros mantienen que, como los precios de los recursos naturales continúan aumentando a causa de su creciente agotamiento, serán sustituidos por otros factores en el proceso de producción[110]. Ahora bien, por factores diferentes a los recursos naturales sólo se puede entender el trabajo o el capital (la tierra ya es suficientemente escasa). Si los recursos naturales van a ser sustituidos por trabajo en una escala creciente, la solución nos lleva hacia una economía en la que sólo contarían los servicios proporcionados por el trabajo, y en el límite tendríamos una sociedad que viviera de la música, el teatro, la danza o de "rascarse la barriga". Si, por otro lado, sustituimos los recursos naturales por capital —tal y como se insiste en algunos artículos más sofisticados — entonces uno podría creer en el milagro de producir más capital utilizando menos recursos naturales. Desafortunadamente, el milagro es un mero truco sobre el papel basado en la famosa función de producción Cobb-Douglas y en la ignorancia de la diferencia esencial que existe entre las variables flujo y las variables fondo en el proceso económico[111]. En esa propuesta, el producto global, Q, se determina a través de la función de producción:

$$Q = KaH\beta Lg \ (1)$$

Donde K es el capital; H el trabajo, R los recursos naturales, y a + b + l =1, con a, b, l > 0. Con esta fórmula, uno demuestra fácilmente que Q (producto) puede mantenerse con un H (trabajo) constante y con un R (recursos naturales) tan pequeño como queramos, a condición de que K sea lo suficientemente grande. El argumento ignora obviamente el hecho de que un aumento de K requiere una cantidad creciente de recursos naturales para producir el capital adicional y el mantenimiento del stock de capital

completo[112].

La crisis por la que la humanidad está avanzando a gran velocidad ha hecho emerger también la cuestión de la asignación de recursos entre diferentes generaciones. Para este problema los economistas se han aferrado de nuevo a su idea del poder total del mecanismo de mercado. Es verdad que el mercado está influido por los intereses de los participantes dentro de su propio horizonte temporal. Este horizonte temporal incluye ciertamente los intereses de la generación más inmediata y quizás los de la segunda generación. Dicho algoritmo ha funcionado desde tiempo inmemorial, pero su interpretación por parte de la economía estándar es incorrecta. Si en sus acciones actuales, el Sr. A no tiene en cuenta los intereses de, digamos, su cuarta generación, esa generación no está protegida por aquellas acciones. La actual escasez de energía no sería ahora tan aguda si la generación anterior a nosotros hubiera actuado también para proteger nuestras necesidades.

No es sorprendente que los economistas también argumenten que "los recursos se miden propiamente en términos económicos, no en términos físicos"[113]. No se puede negar que, para ciertas finalidades, los precios —imperfectos, aunque existen— son el único medio para distribuir el producto y sus costes entre los miembros de una misma generación. Pero para la finalidad del análisis energético, los precios son totalmente inapropiados. Sin embargo, la ilusión del precio está tan fuertemente arraigada que incluso la mayoría de los ingenieros y otros especialistas acatan el dogma de los economistas a la hora de establecer la eficiencia energética sobre la base de los precios.

Cualquier argumento afirmando que los precios son la medida correcta para llegar a una asignación óptima, o a la eficiencia más alta de los recursos, debe implicar que podemos también determinar los precios de los recursos in situ, ya que estos recursos son una parte de los costes reales de cualquier otra cosa. Pero ¿cómo podemos atribuir un precio a un trozo de carbón in situ? El carbón in situ es sólo un bien tan libre como lo es la radiación solar (sólo la radiación solar ya es más abundante que todas las reservas de carbón juntas)[114]. La naturaleza no tiene un mostrador para que

nosotros paguemos por los recursos que utilizamos; el dinero es un sistema establecido para la gente, no para la naturaleza. Por otro lado, los recursos in situ, al ser irreproducibles, no pueden tener un coste de producción sobre el cual basar la determinación del precio.

Ciertamente, existe un principio económico elemental de acuerdo con el cual el valor de cualquier objeto no reproducible —ya sea un trozo de carbón in situ o la Mona Lisa de Leonardo da Vinci— es su precio de subasta. Pero este principio debe ser corregido añadiendo: "Siempre y cuando absolutamente a todos los interesados en ese objeto se les permita pujar". Si únicamente mi vecino y yo pujáramos por la Mona Lisa, tal vez pudiera tenerla por sólo un puñado de dólares, siempre y cuando a mi vecino no le gustara el arte renacentista. Por consiguiente, siguiendo el principio anterior, para establecer un precio válido de cualquier recurso se debe permitir participar a todas las generaciones futuras. La Tierra es, tanto su legado, como el nuestro. Y como ellos no pueden estar presentes para pujar, no podemos tener un precio válido para los recursos in situ y, por ello, tampoco para cualquier otra mercancía producida con la ayuda de estos recursos.

La historia ofrece amplias pruebas de que el mecanismo de los precios no puede defender nuestros intereses ecológicos. La salvaje deforestación que una vez amenazó todos los bosques del planeta fue resultado del hecho de que los precios eran "correctos". Y no se detuvo por el mecanismo de los precios, sino por la introducción de medidas restrictivas en términos cuantitativos. Fue precisamente gracias a que los precios del carbón y del petróleo fueron correctos después de la Segunda Guerra Mundial, cuando la industria del automóvil decidió producir grandes devoradores de gasolina, mientras que la tecnología del carbón quedaba rezagada y la pobreza se extendía en la región de los Apalaches[115]. Y si el guepardo es ahora una especie amenazada, es debido a que el precio de su piel es sólo correcto para alguna gente que se dedica a cazar un animal tras otro.

Déjenme añadir también que la idea de que "el que contamina paga" resulta completamente inadecuada. Primero, porque la mayoría de la contaminación, lo mismo que todo el agotamiento de recursos, siendo irreversible, no tiene un coste. Segundo, y lo más

importante, si aplicáramos el mismo principio a los crímenes igual que a la contaminación, ¡entonces esto haría que realmente se pagara para poder realizar crímenes!

El mito de la tecnología

Todos los principios mencionados pertenecen más a la categoría de falacias analíticas que a la de mitos. El verdadero mito de la economía convencional se refiere al poder de la tecnología para resolver cualquier crisis que se dé entre la especie humana y la oferta de energía y materiales procedente del medio ambiente. Esto se expresa mejor parafraseando a Beckerman: "Venga lo que venga, encontraremos una solución". Aquellos que han invertido un esfuerzo intelectual inmenso en teorías del crecimiento basadas en la noción de que el crecimiento exponencial no sólo es un estado deseable sino el estado normal ahora mantienen con total seriedad que la tecnología también progresa exponencialmente[116]. Es un hecho innegable que durante los últimos cien años se ha producido un crecimiento económico a tasas positivas, variando, sin embargo, año a año. Durante esta época la humanidad tuvo el beneficio de una bonanza de todo tipo y de una expansión territorial hacia los Nuevos Mundos. Pero la historia no está obligada a repetirse a sí misma, especialmente desde que ahora la humanidad se halla bajo la presión de límites que provienen de múltiples direcciones.

Es verdad que, como muchos han observado en favor de la tesis cornucopiana, la humanidad ha progresado continuamente desde tiempos tan lejanos como los de Pericles. Pero se puede contestar con igual fuerza que, en cuestión de procesos evolutivos, las guerras han sido perdidas por países que nunca habían perdido una anteriormente; tampoco la catarata de un ojo se repite en la historia de un individuo particular. Tal y como Myernik[117] puso ingeniosamente de manifiesto, seguir predicando que la tecnología llegará justo en el momento adecuado para salir del agujero ambiental es ser un entusiasta de la primera ley de Walt Disney: "El deseo lo hará realidad".

Desafortunadamente, los economistas no son la única profesión académica que le dice a la gente —tal y como Beckerman hizo al final de su lección inaugural como profesor del University College de Londres— que se vayan a casa y duerman apaciblemente, en la seguridad de que una autoridad económica les asegura que el crecimiento económico puede continuar para siempre sin dificultad o penosidad creciente. Lamentablemente, algunos científicos naturales también sostienen el mismo tipo de discurso. Alvin Weinberg es bien conocido por su grandilocuente plan para abastecer a una población de 20 mil millones de habitantes, durante millones de años, con dos veces el consumo actual de energía per cápita de Estados Unidos de América[118]. Sólo necesitamos construir ni más ni menos que 32.000 reactores reproductores y triturar una roca tras otra para obtener el uranio y el torio necesarios. Glenn Seaborg, por poner otro ejemplo ilustre, nos contó que la ciencia eliminaría en última instancia todas las ineficiencias técnicas y nos proporcionaría tal abundancia de energía que seríamos capaces de mantener intacto todo el planeta, al mismo tiempo que lo explotamos[119]. El mensaje difundido por John von Neumann, una autoridad física y matemática, también era que un día la energía se convertiría en un bien gratuito "igual que el aire libre"[120].

El mito del contrabando de entropía

Quizás el modo más insidioso de alimentar la apasionada esperanza por un mundo en el que la energía fuera gratis (o casi gratis) se basa en la —así llamada— interpretación probabilística de las leyes de la termodinámica, esto es, de aquellas leyes que gobiernan la transformación de la energía. Esta interpretación se debe a Ludwig Boltzmann, aunque J. Willard Gibbs también continuó con un enfoque en cierta medida diferente. Hasta donde podemos juzgar, el descubrimiento de Boltzmann tuvo sus raíces en la atracción que sienten nuestras mentes por cualquier interpretación mecanicista con la tenacidad del pecado original. Antes de Boltzmann, se aceptó como un hecho termodinámico que el calor siempre fluye por sí mismo (esto es, sin ningún otro cambio en el universo) desde el

cuerpo más caliente al cuerpo más frío. La proposición representó incluso una formulación de la segunda ley de la termodinámica, es decir, de la ley de la entropía. Pero tal ley entró en conflicto con la mecánica newtoniana. De acuerdo con ese fundamento, cada movimiento, cada onda, puede desplazarse en ambos sentidos, hacia atrás o hacia delante. En la mecánica no hay lugar para los fenómenos en un único sentido. El conflicto se resolvió aceptando la validez del proceso entrópico como una necesidad independiente (esto es, la irrevocable e irreversible tendencia de la temperatura a igualarse, y de la energía disponible a disiparse en energía no disponible). Pero la aceptación se hizo de manera reacia. La mecánica acababa de añadir una nueva joya a su corona con el descubrimiento del planeta Neptuno por parte de Le Verrier, realizado sin contemplar el cielo con un telescopio, sino con la punta de su lapicero después de una serie de cálculos basados en las ecuaciones de la mecánica de Newton.

La idea de Boltzmann consistía en explicar los fenómenos termodinámicos a través de las leyes de la mecánica mezcladas con una peculiar noción de probabilidad que nunca ha sido definida de manera precisa. De acuerdo con esta contradictoria mezcla de perfecto determinismo y amplia incertidumbre, la inversión espontánea del calor desde un cuerpo frío hacia otro caliente —es decir, desde el condensador hacia la caldera— de tal manera que el mismo calor pudiera otra vez convertirse en trabajo sería un suceso sólo altamente improbable, pero no imposible. Ahora bien, como el suceso es posible, deberíamos ser capaces, a través de un ingenioso dispositivo, de causar una inversión que sucediese con tanta frecuencia como deseáramos, igual que un ágil estafador puede sacar un 6 tantas veces como quiera[121]. En torno a la década de 1930, fueron aireados tantos esquemas de este tipo que P. W. Bridgman, una de las más grandes autoridades en termodinámica, sintió la necesidad de escribir un artículo sólo para exponer la falacia de la idea de que uno puede llenarse los bolsillos de dinero a través del “contrabando de entropía”[122].

Traté esta cuestión en The Entropy Law and the Economic Process, precisamente porque pensé que un economista no debería ser inducido a creer que la interpretación probabilística de la termodinámica ofrece un respaldo específico a la visión del mundo

en la que la energía es un bien “libre” o gratuito. Recorrí en detalle las objeciones que habían surgido por parte de una serie de eminentes científicos contra la inconsistencia lógica de la interpretación probabilística. La primera objeción llegó de la mano de uno de los colegas de Boltzmann, J. Loschmidt, que es bien conocido por el número que lleva su nombre. Loschmidt argumentó que la ley de la entropía, tal y como se justificaba por Bolztmann, podía ser refutada invirtiendo simplemente la velocidad de las moléculas. Si, en el sistema inicial, la entropía fuera aumentando, en el sistema inverso debería reducirse. Más tarde, E. Sérmelo, un alumno de Max Planck y famoso matemático, puso de manifiesto que, de acuerdo con el teorema de H. Poincaré, cualquier sistema mecánico que no se extienda hasta el infinito vuelve a cualquier estado previo tan cercano como deseemos. De ahí que Sérmelo argumentara que la entropía no puede mantenerse en aumento para siempre. Poincaré, que escribió un manual de termodinámica muy apreciado y además era una autoridad en probabilidad, concluyó que posiblemente se tendría que abandonar el fundamento híbrido de la teoría de Boltzmann y buscar en otro lado la explicación de la irreversibilidad[123].

La insatisfacción nunca ha desaparecido completamente. Testigo de ello es la monografía escrita sobre este asunto por Paul y Tatiana Ehrenfest en 1912, y traducida al inglés en 1959. La termodinámica probabilística, sin embargo, se convirtió en una teoría aceptada. La razón que explica este consenso —ya que son pocos quienes lo han sentido de otra manera— es que la fórmula de Boltzmann se confirma con hechos (aunque rara vez se menciona que no es verdadera en todos los casos). Ahora bien, ninguna contradicción lógica en una teoría científica puede permanecer resguardada por un consenso durante mucho tiempo. Muy recientemente, debido a las contribuciones que le hicieron merecedor del Premio Nobel de Química, Ilya Prigogine sacó el esqueleto del armario y demostró que la “‘teoría mecánica’ de Boltzmann sobre la evolución de la materia [está basada] en argumentos intuitivos [y] su programa nunca se realizó, a pesar de la afirmación frecuente en contrario” (énfasis mío)[124]. Uno debería esperar que, al final, la nueva termodinámica de Prigogine resuelva un asunto largamente debatido y ponga fin al optimista contrabando de entropía[125].

El dogma energético

Desde el embargo de petróleo de 1973-74, sólo aquellos pocos que todavía creen en un gran plan de energía ilimitada no están preocupados por la inminente crisis energética. El proceso económico no sólo sigue necesitando energía, también necesita materiales. No podemos manipular la energía sin un instrumento material, ya sea éste receptor o transmisor. Todo lo que nos rodea está hecho de materia. Y, ya que estamos, la vida terrestre no puede existir en ausencia de un cuerpo. Que el público en general hable sólo de crisis energética, ignorando por ello completamente la necesidad de la materia, puede ser debido a la dolorosa lección derivada del embargo de petróleo. Pero esta misma razón no sirve en el caso de los estudiosos, en especial de los científicos naturales. Si ellos también ignoran usualmente los problemas relacionados con la materia, sólo puede deberse a que la termodinámica ignora completamente los fenómenos puramente materiales —fricción, viscosidad, agotamiento de metales, moliendas, resquebrajamientos, etc.— a los que verdaderamente resulta difícil hincar el diente.

En efecto, encontramos a científicos naturales proclamando lo que, mucho antes del embargo de petróleo, se puede denominar "dogma energético". Como lo expresaron Harrison Brown y sus colaboradores: "Todo lo que necesitamos hacer es añadir suficiente energía al sistema y podemos obtener cualquier material que deseemos"[126]. Más recientemente, el distinguido ecólogo H. T. Odum, revivió una vieja idea de Fred Cottrell según la cual la eficiencia de cualquier proceso se mide por la energía neta que produce[127]. Otra aproximación, realizada por un grupo de analistas británicos, también reduce todo solamente a energía[128]. Claramente, si una tonelada de petróleo se utiliza para la extracción de 10 toneladas de petróleo, existe una ganancia neta de energía de 9 toneladas. Aunque, por la misma razón, deberíamos hablar de materia neta de cobre en cualquier producción de ese metal. Sin embargo, esto no es todo; en este último proceso, deberíamos hablar también de energía neta negativa.

Obviamente, el dogma energético implica que, de una u otra manera, cada objeto material se puede producir sólo con energía en un proceso que se puede determinar consolidando de forma agregada todos los procesos productivos. Alternativamente, el dogma energético se utiliza para dar por sentado que —como afirma Kenneth E. Boulding— "afortunadamente no existe ninguna ley de la entropía material creciente"[129].

En la práctica, estas diversas perspectivas se reducen a la noción de que el reciclaje puede ser completo. En ese caso, un estado estacionario termodinámico sólo necesitaría un flujo de energía del medio ambiente para desarrollar un trabajo mecánico interno y hacerlo a una tasa constante indefinidamente. No necesitaría ni un flujo de materia en forma de input procedente del medio ambiente, ni tampoco generaría un flujo de output en forma de residuos materiales. La misma cantidad de materia se utilizaría una y otra vez gracias al reciclaje completo. Un sistema tal y como se ha descrito es, en la terminología termodinámica, un sistema cerrado estacionario. Pero, dado que se supone que realiza un trabajo mecánico indefinidamente a una tasa constante, podemos referirnos a ello como un movimiento perpetuo de tercera especie. Y como mi postura al respecto es que tal movimiento perpetuo es imposible, entonces podemos ver esta imposibilidad como la expresión de una cuarta ley de la termodinámica[130].

Quizá la forma más simple de demostrar la imposibilidad del reciclaje completo (y por ello del movimiento perpetuo de tercera especie) es pensar en las perlas de un collar que se ha roto en medio de una habitación. Nadie dudaría de que, con un poco de paciencia, todas las perlas podrían ser recogidas y el collar rehecho. Naturalmente requeriría un esfuerzo mayor y más tiempo conseguir el mismo resultado si el collar se rompiera en un cine, y un esfuerzo y tiempo algo inimaginables si el collar se rompiera en algún sitio de Manhattan. Sin embargo, juntar todas las moléculas de cobre procedentes de un penique disipadas por las cuatro esquinas del planeta debido a su continuo uso sería una proeza imposible. Esta proeza requeriría prácticamente un tiempo infinito (dejando al margen la indescriptible cantidad de energía consumida y las legiones de objetos dilapidados en la operación). La posibilidad de un movimiento perpetuo de tercera especie debe ser, por tanto,

rechazada. Es instructivo poner de relieve que la razón principal es la misma que sirve para descartar, en realidad, los movimientos reversibles. Un movimiento es reversible si y sólo si su velocidad es infinitesimalmente lenta, en cuyo caso cualquier movimiento finito requeriría de un tiempo infinito para llevarse a cabo.

El hecho de que el reciclaje no pueda ser completo demuestra que la materia, al igual que la energía, se disipa continua e irrevocablemente. La materia no se pierde. En última instancia sólo se convierte en no disponible para nosotros. Por decirlo brevemente, la materia también está sujeta a degradación entrópica.

Cabría pensar que la famosa equivalencia de Einstein $E = mc^2$ podría alterar mi argumento respecto a la imposibilidad del movimiento perpetuo de tercera especie. Pero esta idea no funciona. Si la equivalencia se interpreta tal y como está escrita sin ninguna restricción, entonces deberíamos tener derecho a hablar de crisis energética o crisis material indistintamente. Como esto sería absurdo, algo está equivocado. El problema es que entre la materia y la energía existe una importante asimetría que, curiosamente, parece ser generalmente omitida y pasada silenciosamente por alto. La equivalencia einsteiniana funciona principalmente para la conversión de materia en energía, como en el caso no sólo del Sol, sino de cualquier cerilla que encendamos. Pero la energía sólo puede ser convertida en materia adicional. La materia no puede obtenerse solamente de la energía, pues la materia significa átomos y los átomos necesitan protones y neutrones, es decir, partículas con masa. Ésta es la razón de que las teorías actuales sobre el origen del universo supongan que al comienzo hubo no sólo fotones sin masa, sino también átomos de helio e hidrógeno[131].

La conclusión importante es que la materia, per se, también importa. Lo que recae especialmente sobre la relación entre el análisis energético, la valoración económica y la evaluación de la tecnología. Hay autores que afirman que el análisis energético (basado en el dogma energético) debe sustituir a la valoración económica, dado que los precios representan “después de todo, nada más que un juicio de valor muy refinado”[132]. Un examen más detenido de la valoración económica —afirman estos autores— mostraría que los precios vendrían determinados por el componente

energético de los bienes. Incluso aunque los precios fueran elementos restringidos dentro del sistema económico[133], posiblemente no puedan ser proporcionales al contenido energético de una mercancía. Si Huettner[134] llegó a tal proporcionalidad fue porque siguió la práctica falaz de la economía convencional de ignorar la diferencia esencial entre los elementos flujo y los elementos fondo de un proceso económico[135]. El proceso económico es entrópico en todas sus fibras, aunque no puede reducirse a un vasto sistema termodinámico. La valoración económica avanza a través de una red de categorías antropomórficas y no físico-químicas —utilidad, desutilidad, distribución—. Nadie —esto debe ser enfatizado— ha sido capaz de demostrar la existencia de una relación cuantitativa entre esos atributos humanos y la energía consumida o gastada en su producción.

Incluso el análisis energético basado en el dogma energético pierde su significado como criterio de eficiencia[136]. La materia, siendo como hemos visto, un elemento independiente al lado de la energía, también debe ser tenida en cuenta. Y como la materia, M, y la energía, E, a escala agregada no pueden ser reducidas a un común denominador, entonces no existen familias de isocuantas, $F(M, E) =$ constante, sobre las que basar el criterio de eficiencia. La elección entre dos tecnologías, T1 (M1, E1) y T2 (M2, E2) que tienen el mismo resultado pero $M1 > M2$ y $E1 < E2$ no puede decidirse sobre fundamentos puramente físico-químicos. Esta decisión permanece en el ámbito de la economía.

Cuando en la actualidad escuchamos que esta o aquella receta técnica no puede ser exitosa económicamente a causa de que la inversión inicial es demasiado elevada, esta afirmación esconde el hecho de que dicha técnica requiere una excesiva cantidad de materia. Podemos incluso formular una regla que, aunque algo grosera, es útil respecto a la relación entre el requerimiento material y la intensidad energética. El uso de energía de intensidad media —la energía química de los combustibles fósiles— requiere proporcionalmente la menor cantidad de materia. Podemos quemar, por ejemplo, carbón sin prácticamente ninguna instalación. La energía de alta intensidad requiere una cantidad de materia proporcionalmente mayor, simplemente porque debe estar contenida en un espacio relativamente pequeño (y seguro).

Aprovechar la baja intensidad energética de la radiación solar también requiere una gran cantidad de materia —para concentrarla hasta el nivel necesario para nuestras actividades industriales—. Esto es, tal vez, un lugar común. Pero no parece que todavía lo tengamos en cuenta en nuestra evaluación de la tecnología.

Dos conceptos deben ser claramente diferenciados para este propósito, a saber: la receta técnica factible y la tecnología viable. Extraer roca de la Luna es, por ejemplo, una receta factible. Pero todavía no forma parte de ninguna tecnología viable. La tecnología basada en los combustibles fósiles es viable porque puede producir y mantener sus propios cimientos (mientras los recursos naturales necesarios estén accesibles).

Esto nos lleva a la idea, ahora tan fascinante, de la tecnología basada en la energía solar. La anterior discusión sobre el necesario papel que juega la materia nos permite demostrar que ninguna tecnología basada en cualquiera de las recetas técnicas actualmente conocidas para el uso directo de la energía solar es viable.

Ilustremos nuestro argumento con el caso de los paneles solares. Para una tecnología basada en esta receta, es necesario que los paneles solares se automantengan. En otras palabras, es necesario que la energía, x11, utilizada por los paneles sea suficiente para producir los paneles x21, agotados durante el proceso, y también aportar algo de energía al resto de la economía. Sea x12 la energía necesaria para producir x21. En este caso, una condición necesaria de viabilidad es $x11 > x12$. Pero el simple hecho de que ninguna empresa está actualmente fabricando paneles solamente con la ayuda de la energía producida por los propios paneles es prueba suficiente de que la tecnología correspondiente no es viable.

Lo que ocurre en la actualidad es que los paneles solares, x21, se producen con la ayuda de alguna energía diferente a la radiación solar —principalmente con la energía procedente de los combustibles fósiles—. Por tanto, actualmente, todos los usos directos de la energía solar son parasitarios de las tecnologías con base en los combustibles fósiles. Y esto no es todo. Si y12 denota la energía fósil consumida en la producción de los paneles solares x21, entonces nos enfrentamos a tres alternativas: $x11 - y12 < 0$, $= 0$, o por último, > 0. A la vista de la inmensa propaganda a favor de los

hogares con calefacción solar, cabe esperar que x11 - y12 < 0 no sea cierto. Pero la cosa no acaba aquí y los datos deben mostrar qué alternativa es en la actualidad la verdadera.

Por tanto, Denis Hayes no es exacto cuando afirma recientemente que "podemos utilizar la energía solar ahora [porque] la tecnología ya está aquí"[137]. Sólo las recetas están aquí. La tecnología no. Por supuesto, la situación puede cambiar de la noche a la mañana, al menos en principio. Pero en este caso particular, cabe dudarlo. A diferencia de la energía nuclear, la radiación solar desde receptores solares se ha utilizado desde hace casi cien años. Durante este largo periodo de tiempo, ninguna mejora realmente importante ha aparecido. Lo mismo se aplica a la I+D intensiva de los últimos años. Debemos ser muy discretos a la hora de reivindicar la radiación solar como un sustituto ya disponible, no sea que repitamos la misma palabrería que con la energía nuclear, que recientemente ha demostrado ser demasiado entusiasta. En ambos casos, tal vez no sea la energía la restricción —que ciertamente lo es —, sino la materia —que no parece responder a los requisitos de una tecnología viable—.

El mito de la salvación

a través de los ordenadores

No puedo terminar este artículo sin mencionar lo que considero el mayor mito de todos. Desde hace tiempo, la gente es consciente del hecho de que los recursos, empezando por el suelo y terminando por el subsuelo, son irrevocablemente agotables. Más de un estudioso, no sólo Malthus, ha argumentado que, como la Tierra es también finita, la humanidad se enfrentará en última instancia con alguna crisis ambiental. Pero Dennis Meadows y sus colaboradores hicieron un gran servicio demostrando, en Los límites del crecimiento, y con la ayuda de herramientas algo sofisticadas, que tal crisis no es un simple fantasma. Una prueba de este tipo era absolutamente necesaria para discutir con los sutiles partidarios de

la cornucopia. Pero otra serie de investigadores han comenzado a programar ordenadores para resolver cualquiera de sus preguntas —siempre que su pregunta aporte el elemento más importante de la predicción—. Incluso otros, utilizando también un complicado trabajo de ordenador, han intentado predecir la "demanda" y "oferta" futuras. No hay razones para aceptar esas predicciones al pie de la letra, como tampoco existe ninguna para rechazarlas. Todavía estamos en la oscuridad. De lo que podemos concluir que todos estos trabajos, sin excepción, confirman los hallazgos de Meadows referentes a la inminente "brecha" entre la oferta y las necesidades. La publicidad que rodea todos estos intentos —conjuntamente con la palabrería sobre este o aquel artefacto que se supone resolverá la crisis ambiental— tiende a orientar al público en la dirección equivocada. Nuestra tarea más urgente es convencer al público de que el consumo de energía y materiales debe reducirse drásticamente en los países desarrollados, a la vez que se dedican mayores cantidades a salvar del hambre y la miseria a las grandes masas de población de los países subdesarrollados[138]. Pensar que concentrarse en realizar varios ejercicios con el ordenador es un sustituto de la acción correcta constituye el mayor de los mitos en la actual encrucijada por la que está pasando nuestra especie[139].

LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA ECONÓMICA*

De acuerdo con la moda que, de un tiempo a esta parte, ha prevalecido en las ciencias sociales —especialmente en la economía —, las contribuciones que merecen el mayor de los elogios son aquellas que utilizan munición matemática de peso: cuanto más contundente y esotérica, de mayor valor son los elogios. Las protestas contra esta situación no han fracasado por no hacerse con la suficiente frecuencia como para haber merecido atención. Lo que es peor, las protestas de este tipo se hicieron no sólo por economistas "literarios" como Thorstein Veblen y Frank H. Knight, sino también por quienes estaban familiarizados con las herramientas matemáticas, como, por ejemplo, Alfred Marshall, Knut Wicksell y Lord Keynes[140]. Knight lamentó que existieran muchos miembros de la profesión económica que eran "primero matemáticos y luego economistas". Desde la época de Knight, la situación ha empeorado mucho más. Hay esfuerzos que ahora pasan por ser el tipo de contribuciones más deseadas, aunque se trata sencillamente de ejercicios matemáticos, no sólo sin sustancia económica, sino también sin valor matemático. Sus autores no son primero algo y después otra cosa: ni son matemáticos ni son economistas. Cuán peligrosa es la infatuación con el puro simbolismo matemático lo demuestra el hecho de que voces procedentes del círculo de los científicos naturales también lo han denunciado con frecuencia. Quizá el ejemplo más contundente sea el de Lord Kelvin, que así lo hizo en el prefacio del Treatise on Natural Philosophy (escrito en colaboración con P. G. Tait, en 1883)[141].

T. C. Koopmans, tal vez el mayor defensor del uso de la herramienta matemática en economía, contrarrestó la crítica sobre la exageración de simbolismo matemático afirmando que los críticos no habían planteado una queja específica. La ocasión fue un simposio celebrado en 1954 en torno a una protesta de David Novick[142]. Pero, por una ironía del destino, unos veinte años después, uno de los corpora delicti más sospechosos de

matematización vacía se publicó precisamente con la ayuda directa de Koopmans. R. J. Aumann había ya publicado en Econometrica un artículo que tenía que ver con el problema de un mercado en el que existen tantos agentes como números reales, este es, tantos como todos los puntos de una línea continua[143]. En 1972, Koopmans presentó a la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos un artículo de Donald Brown y Abraham Robinson para publicarse en su revista oficial[144]. Los autores supusieron que existían más agentes económicos incluso que los elementos del continuo matemático. Ahora bien, dado que los autores de ambos artículos y el propio Koopmans están muy versados en matemáticas, tienen que haber conocido el resultado demostrado hace mucho tiempo por Georg Cantor, a saber: hasta un espacio infinito puede amoldarse a lo sumo a una infinidad enumerable de objetos de tres dimensiones (tal y como deben necesariamente ser los agentes económicos)[145].

Pero existen otros ejemplos que no parecen constituir un vuelo de la imaginación, aunque siguen siendo, como mucho, ejercicios vacíos con símbolos. La única dificultad para ver que, efectivamente, son sólo eso, es que los símbolos adoptan nombres del vocabulario económico: ahorro, inversión, capacidad productiva, etcétera. Tal es el caso del modelo dinámico en su forma más característica —el modelo que ha arrasado en la profesión económica—: el modelo dinámico de Leontief. Ese modelo no es una representación analítica válida ni siquiera de un crecimiento con una senda ascendente, y menos aún de un desarrollo cualitativo[146].

Otro resultado de nuestra preocupación por el simbolismo en vez de por la adecuada representación de los hechos es la forma, completamente defectuosa, en que la economía convencional representa el proceso de producción[147]. En primer lugar, la función de producción convencional no distingue entre los agentes de producción —fuerza de trabajo, capital y tierra— y los elementos flujo que constituyen el objeto de la actividad de los agentes: específicamente, la transformación de algunos flujos en otros diferentes. Como consecuencia de ello, los economistas matemáticos nos han salido recientemente con un truco fantástico. No debemos preocuparnos por el agotamiento de los recursos naturales, pues, con la ayuda de la consabida función de producción Cobb-Douglas,

se puede demostrar que esos recursos naturales pueden ser sustituidos, sin ninguna limitación, por equipamiento de capital[148]. La demostración no presta atención al hecho evidente de que, en efecto, ese aumento del capital implica un incremento del uso de recursos naturales para producirlo y, por tanto, para mantenerlo también.

En segundo lugar, la misma función de producción tradicional ignora la duración del proceso de producción, por ejemplo, el día de trabajo en una fábrica. En la forma tradicional de la función de producción no hay lugar para la verdad elemental de que al doblar el tiempo de trabajo, se duplica también el producto. Esta omisión lleva frecuentemente a la confusión entre el número de trabajadores empleados y el número de horas trabajadas, una confusión particularmente dañina en el análisis del desempleo[149].

El formalismo matemático de la teoría convencional de la producción ha reducido nuestro análisis de esta actividad a una reiterada aplicación de los multiplicadores de Lagrange, y poco más. El estudiante de licenciatura que en un examen se refirió a Lagrange como "ese gran economista" fue una víctima insignificante del modo en que teorizamos sobre el proceso de producción.

Las recientes dificultades económicas en muchas áreas — desempleo, inflación, estancamiento de los países subdesarrollados y crisis energética— han revelado la impotencia del conocimiento profesional que consiste principalmente en ejercicios con lápiz y papel como forma para recomendar algunos remedios que, sin embargo, son imperfectos. Todo ello llevó a Paul Samuelson, sin duda la mente analítica más penetrante de todos los economistas matemáticos de esta mitad de siglo, a admitir que "el malestar de aquellos economistas que ahora están sufriendo no es algo imaginario (...): el respeto que los economistas inspiran en las esferas de negocios no es ya el que solía ser"[150]. Cabe esperar que la mayoría de los errores introducidos dentro de nuestro actual modo de operar como economistas, debidos a la infatuación con el simbolismo por el simbolismo, sean eliminados pronto como resultado de estos desarrollos y autorizados reconocimientos. Pero algunos malos hábitos de pensamiento probablemente todavía

sobreviven. De lejos, el más crucial de esos hábitos es la epistemología mecanicista. Como argumentaré a continuación, la mayoría de los defectos y extravíos actuales tienen su origen en esa Weltbild (visión del mundo).

El marqués Pierre Simon de Laplace, el hombre que ya había realizado contribuciones analíticas perdurables a la ciencia de la mecánica y que también había escrito el famoso tratado sobre la Mécanique céleste, proclamó en 1814, con toda su autoridad, que absolutamente todo en el universo estaba gobernado por las leyes de la mecánica y sólo por ellas[151]. Reconocía, sin embargo, que el sistema completo de ecuaciones diferenciales que describía ese sistema mecánico era tan enorme y los datos iniciales tan numerosos que únicamente un intelecto demiúrgico —al que ahora nos referimos como "demonio laplaceano"— podría posiblemente reunir todos los datos y hallar todas las soluciones. No es sino la imperfección de nuestras mentes la que nos impide el uso de las leyes de la mecánica para el conocimiento completo del futuro (y también de todo el pasado).

Treinta años después de que Laplace escribiera esta apoteosis de la mecánica, ocurrió algo que pareció demostrar que la mecánica tiene ese poder sobre la existencia, tal y como él lo describiera. En 1846 un astrónomo francés, Urbain Le Verrier, al final de algunos cálculos en los que contrastó las observaciones astronómicas de los planetas conocidos con los resultados de un sistema mecánico adecuado, proclamó que todavía existía un planeta desconocido y que, además, debía ser visible en una cierta región del cielo. La observación directa de esa región pronto confirmó la existencia de ese planeta ahora llamado Neptuno.

Neptuno, por tanto, fue descubierto no escrutando el firmamento con un telescopio, sino "con la punta de un lapicero". Podemos imaginar perfectamente el sueño que esta hazaña debió de inspirar en todos los científicos sociales, especialmente en los economistas. Es el sueño de ser capaz de predecir la localización de cualquier acción en el firmamento del mercado de valores —sea la de mañana o la de hace un año— resolviendo ciertas ecuaciones que gobiernan el movimiento de ese mercado. Sin duda, la esencia de ese sueño debe estar todavía a resguardo en el subconsciente de muchos

economistas modernos. El papel que tal esperanza jugó en la fundación de la Cowles Commission se evidenció con varios artículos en los primeros volúmenes de Econometrica.

Pero el éxito de Le Verrier impresionó a todos, a los científicos y también a los filósofos. La mecánica reinó de manera suprema como ciencia y también como epistemología. Cuando Wilhelm Wundt proclamó en 1880 que "la mecánica es el origen y el fundamento de toda ciencia natural con capacidad explicativa"[152], sólo estaba describiendo el dogma científico, casi general, de esa época. Y más cerca de nuestra propia era, un matemático francés muy respetado argumentó completamente en términos laplaceanos: "La mecánica es el fundamento necesario de todas las otras ciencias en la medida en que pretendan ser exactas"[153].

No debería sorprender que, en 1871, W. Stanley Jevons presentara su plan para el desarrollo de la economía como "la mecánica de la utilidad y el interés propio"[154]. Y que años después, en 1906, Vilfredo Pareto confirmara la idea[155].

Fue a causa de esta orientación como la herramienta matemática se introdujo en la economía política [political economy], un término tan embarazosamente contradictorio para lo que los economistas hacen en la actualidad que lo hemos desechado y reemplazado por el más neutral de "economía" [economics]. La mutación metodológica por sí misma fue afortunada, y éste es un punto que desearía enfatizar una y otra vez —porque continuamente he sido interpretado de manera incorrecta a este respecto—, ya que los modelos matemáticos son útiles en dos situaciones.

La primera es en la economía ingenieril, que opera con condiciones restringidas, precios y coeficientes de producción conocidos, y busca encontrar una solución óptima. El mejor ejemplo que puedo citar es la aplicación real de la programación lineal a la mezcla de gasolinas o a los programas de navegación —como ya de manera muy fértil abrió el camino en este punto T. C. Koopmans—.

La segunda es cuando un modelo matemático se utiliza para clarificar un problema económico, pero que ya existe como un problema previo a cualquier consideración relativa a su modelización. Tales problemas son, en general, de naturaleza

dialéctica (como explicaré enseguida), y los modelos son únicamente símiles de nuestro propio razonamiento dialéctico. No deben ser interpretados como planos que nos dicen exactamente qué hacer paso a paso. En economía, y en cualquier otra ciencia social, no podemos tener tablas como las que se usan en ingeniería, física o química. Los modelos nos pueden ayudar a explorar nuestro razonamiento dialéctico, pero no pueden mostrarnos el camino a seguir. El punto clave es que primero debemos tener ese tipo de razonamiento[156]. Es precisamente cuando ignoramos esa condición, y presentamos un modelo sin ninguna referencia al problema relevante, el momento en que caemos en la ociosidad matemática, o "playotrics", el término usado por Ragnar Frisch (en su inédita lección inaugural del Primer Congreso Mundial de la Sociedad Econométrica) para estigmatizar la actual tendencia en econometría [econometrics][157].

Pero el hecho de que la economía respire ahora mecanicismo por todos sus poros es algo mucho más serio que la "playotrics" de Frisch. Casi todos los manuales introductorios —incluso los de aquellos autores más respetados— describen el proceso económico por medio de un diagrama circular entre la "producción" y el "consumo". La explicación de este resultado en un mercado es idéntica que el principio de desplazamiento virtual que se utiliza en mecánica para determinar el equilibrio estático. La demanda y la oferta programadas pueden desplazarse hacia arriba o hacia abajo, pero el sistema siempre retornará a cualquier equilibrio anterior[158]. Todo es reversible, exactamente igual que en la mecánica, donde el movimiento consiste únicamente en un cambio de lugar, no en un cambio cualitativo.

Sin embargo, la verdad evidente es que el sistema económico cambia continuamente de manera cualitativa. Por utilizar una variante de una de las lecciones características de Joseph Schumpeter, no podemos mantenernos para siempre produciendo un vagón tras otro indefinidamente[159]. Hemos pasado de viajar en carruaje a hacerlo en tren, automóvil, avión, y cabe la posibilidad de que lo hagamos también en cohete.

El aspecto más importante del proceso económico es precisamente la continua aparición de la novedad. Ahora bien, la novedad es

impredecible, pero en un sentido bastante diferente de la forma en que es impredecible el resultado del lanzamiento de una moneda. En este último caso, podemos realizar una predicción sobre la frecuencia de que salgan, por ejemplo, “cruces”, a lo largo de una secuencia larga de lanzamientos repetidos. Sin embargo, cada novedad es algo singular y único en el sentido de que, desde el punto de vista del tiempo cronológico, sólo ocurre una vez.

Además, la novedad siempre representa un cambio cualitativo. Se comprende entonces que ningún modelo analítico pueda enfrentarse a la aparición de la novedad, pues todo lo que se puede obtener de tal modelo sólo puede referirse a variaciones cuantitativas. Además, no se puede obtener nada de un modelo analítico que no esté lógicamente contenido en su estructura axiomática. Tal y como ha sido argumentado por varios matemáticos famosos, cualquier campo de la matemática puede ser visto simplemente como una gran tautología lógica. Lo que es estrictamente novedad en el desarrollo de la matemática es el acto de descubrimiento de un “nuevo” teorema, no del teorema en sí mismo. La novedad, por otra parte, se caracteriza por el hecho de que incluso después de haber ocurrido, generalmente es imposible de explicar a partir de las leyes de fenómenos ya conocidos. A saber: existen innumerables cualidades de componentes químicos que no pueden ser deducidas lógicamente a partir de las propiedades de sus elementos constitutivos. Incluso algunas propiedades cualitativas de una sustancia tan común como el agua no pueden ser lógicamente obtenidas de las propiedades elementales del oxígeno y el hidrógeno. Pero, por utilizar un ejemplo incontestable, consideremos un ser vivo, por ejemplo un elefante. La forma en que se comporta un elefante, el que sea un herbívoro, el que tenga una trompa, etc., no puede ser explicada a partir de las propiedades de los elementos químicos que constituyen su cuerpo. Si sabemos todas esas cosas es porque hemos observado un elefante detrás de otro desde que nacen, maduran y finalmente mueren. Dicho más específicamente: no son las propiedades de la materia elemental —carbono, oxígeno, hidrógeno, fósforo, etc.— las que determinan el comportamiento del elefante, el mosquito, el ser humano, y así hasta el final. Por el contrario, todos esos comportamientos sólo reflejan muchas propiedades de los elementos químicos que no se manifiestan a un nivel elemental. Por eso la naturaleza tiene un

número infinito de propiedades[160]. Es por este hecho, y por la continua aparición de la novedad, por lo que la mente humana no puede amarrar la realidad solamente con la ayuda del análisis: también debe usar la dialéctica.

El análisis y la dialéctica son los únicos métodos que entran en contacto con los fenómenos que nos rodean e incluso con los que están dentro de nosotros. Pero, sin embargo, ambos están separados por una distancia insalvable.

El análisis consiste en una descripción sistemática de la realidad únicamente con la ayuda de conceptos aritmomórficos. La propiedad característica de estos conceptos es que la mejor forma de ilustrarlos es a través de un número. A saber: el número "uno", por ejemplo, se encuentra completamente aislado del resto de los números. No existe un número que sea al mismo tiempo el "uno" y el "no uno". Por motivos prácticos, un polígono regular con $10^{10^{10}}$ caras puede ser considerado como un círculo, pero los dos conceptos son discretamente distintos[161] al igual que lo son el número "uno" y el inaccesible $10^{10^{10}}$. Tampoco un número puede cambiar a medida que pasa el tiempo. Lo que significaba el "uno" para las primeras mentes que comenzaron a contar es todavía válido hoy, y lo seguirá siendo así para siempre. Pero esto mismo no es cierto para la mayoría de nuestros conceptos básicos, tal y como explicaré a continuación.

Por otro lado, el razonamiento dialéctico emplea conceptos dialécticos. Estos conceptos son distintos, aunque no discretamente distintos. Su rasgo característico es que pueden superponerse a sus contrarios; sus significados se introducen dentro de sus contrarios. Mientras que un concepto aritmomórfico está separado de su contrario por un límite vacío (un conjunto vacío, como se entiende en matemáticas), un concepto dialéctico está separado de su opuesto por una penumbra esencial. Es dentro de esta penumbra donde ambos, A y no-A, son verdaderos.

Pero debe tenerse en cuenta que esta penumbra no es una entidad aritmomórfica perfectamente definida en el sentido de que sabemos siempre si un caso concreto está dentro de la penumbra o fuera de ella. La penumbra dialéctica no divide todo el espectro de un concepto en tres dominios aritmomórficos: el dominio de A, el de

no-A, y el de ambos, A y no-A.

La esencia de la dialéctica, visto de esta forma, es que la penumbra que separa un concepto dialéctico de su contrario está ella misma rodeada de penumbras dialécticas, que a su vez están separadas por penumbras dialécticas, y así sucesivamente en una reducción dialéctica infinita[162].

Lo que la aritmomanía predominante ignora es que incluso la acusación de "sin sentido" —que es la defensa que hace el positivismo construida de la manera más cuidadosa— ni siquiera puede comenzar su argumentación sin recurrir a conceptos dialécticos. En efecto, la mayoría de nuestros conceptos fundamentales son dialécticos: justicia, democracia, bondad, maldad, abstracción, competencia, empresario, agricultor, ocupación, creencia, etc.

Cualquier ejemplo de concepto aritmomórfico será suficiente como ilustración. Por ejemplo, un cuadrado deja de ser un cuadrado con independencia de lo poco o mucho que podamos modificar uno de sus ángulos. Por el contrario, cualquier ejemplo de concepto dialéctico puede ser modificado, a veces de manera apreciable, sin que por ello el concepto sea invalidado. Pensémoslo por un momento: ¿no era Estados Unidos una democracia cuando la edad mínima para votar era de veintiún años? O ¿dejaría de ser Estados Unidos una democracia si la edad actual fuera reducida en un día, un mes o un año? Ciertamente no sería una democracia si el límite de edad estuviera en setenta años, o en un año.

Por eso un concepto dialéctico, aunque no sea discretamente distinto, es sin embargo distinto. Y aunque el razonamiento dialéctico no pueda ser tan preciso como un razonamiento aritmomórfico al estilo ingenieril, el razonamiento dialéctico puede ser perfectamente correcto. Aquí, lo mismo que en el arte de la pintura, no debemos echar la culpa a los colores por el horrible trabajo que algunos "pintores" pueden producir con ellos. Ábrase un buen libro de positivismo filosófico y léase casi cualquier párrafo para ver cuán espléndido puede ser el razonamiento dialéctico. Todos nuestros libros tendrían que ser arrojados por la borda si insistimos en que el "sinsentido" dialéctico —tal y como se menosprecia a la dialéctica con frecuencia— no debe nunca

utilizarse. “No sólo somos capaces de reconocer un amarillo en particular, ya que si hemos visto un número suficiente de amarillos y tenemos suficiente inteligencia, somos capaces de reconocer el amarillo universal. Este amarillo universal es el objeto de juicios tales como ‘el amarillo es diferente del azul’, o ‘el amarillo se parece menos al azul que el verde’”[163].

La razón fundamental de por qué no podemos hacer nada sin conceptos dialécticos es que la realidad, al menos tal y como es vista por la mente humana, cambia continuamente de forma cualitativa. Recuérdese el primer ejemplo: la democracia es un concepto dialéctico porque esa condición es un flujo constante, tal y como sabemos por la historia y también por las diferencias actuales entre un lugar y otro. La actual democracia de Estados Unidos no es idéntica a la de la época de Thomas Jefferson, ni tampoco es igual a la que se da ahora, por ejemplo, en Suiza. La especie biológica es un concepto dialéctico precisamente porque es la verdadera sede de la evolución biológica. Se han hecho intentos por definir el término especie de manera aritmomórfica, y la implicación inevitable de estas definiciones es que todas las especies se crearon de una vez por todas, como algo tan inmutable, por ejemplo, como un protón. La necesidad humana también es un concepto dialéctico porque varía de forma importante con el tiempo y el lugar. La especie humana no hubiera sido capaz de tener una existencia biológica duradera si sus necesidades hubieran sido rígidas, haciendo con ello imposible la adaptación.

Lo más que podemos esperar de un modelo aritmomórfico es que represente el crecimiento en sentido puro o, mejor dicho, variaciones cuantitativas estrictas de elementos cualitativamente diferentes aunque idénticos en sí mismos. Un caso para ilustrarlo es el ofrecido por los desarrollos recientes en biología molecular. Antes del descubrimiento de la doble hélice, el principal problema en biología era explicar el crecimiento en sentido puro, esto es, cómo las células se multiplicaban por división tal que el número de células idénticas podía crecer, en principio, sin ningún límite. La dificultad era que para la duplicación uno necesita una plantilla, un negativo, como así era. Los recientes hallazgos explican que la plantilla está dentro del núcleo mismo: la estructura cromosómica consiste en dos patrones simétricos, cada uno capaz por sí mismo de

producir su imagen simétrica y, por ello, de “recrear” el núcleo idénticamente.

Sin embargo, esta teoría aritmomórfica no puede explicar en absoluto el proceso posterior de desarrollo de un organismo estructurado, pues sólo deja constancia de la relación entre la estructura aritmomórfica de un gen y su manifestación a través de su conducta[164]. En efecto, si la estructura cromosómica es idéntica en todas las células de un organismo debido a su reproducción a través de la división de la doble hélice, y si la estructura cromosómica es el único código por el cual una célula funciona, entonces un huevo fertilizado después de su primera división celular puede producir sólo dos huevos fertilizados idénticos a sí mismo. Y lo mismo vale para la siguiente división, para la siguiente, y así indefinidamente. ¿Cómo es posible entonces tener un desarrollo, esto es, la diferenciación de células de acuerdo con sus diversas funciones cualitativas —el ojo, el estómago, el cerebro, la piel, etc.—?[165] Parece difícil encontrar un ejemplo más sorprendente de la famosa máxima de Hegel: “La autoidentidad abstracta no tiene vida”[166].

Como los fenómenos evolutivos no pueden ser representados por modelos analíticos, todo el campo de lo evolutivo enfrenta al estudioso con una dificultad de la que no parece darse cuenta. Reiterémoslo de nuevo: si ahora sabemos cómo vive un elefante es porque, y sólo porque, hemos sido testigos de innumerables vidas de elefantes anteriormente. Si tuviéramos que enfrentarnos de repente con una estructura viva de otro mundo diferente al nuestro, posiblemente no podríamos decir de qué se alimenta, cuánto puede vivir todavía en promedio, o si es joven o vieja. Para saber cuánto tiempo puede aún vivir o si sangra o no su piel u otros órganos tendríamos que observarla hasta que se muriera. Esta es la terrible dificultad de todo estudioso de los fenómenos evolutivos, ya sea en biología, sociología, política, arte, o, seguramente, en economía. No hemos sido todavía capaces, y no lo seremos tampoco, de presenciar otra humanidad que surja, se desarrolle y, finalmente, desaparezca.

El resultado final es que posiblemente tampoco podemos tener una perspectiva ni siquiera a vista de pájaro sobre la evolución futura de la humanidad. Todo a lo que podemos aspirar es a la perspectiva de

una lombriz, esto es, en el mejor de los casos, podemos tener alguna idea sobre lo que probablemente ocurra en el futuro más inmediato. Ciertamente, esta idea se basa en el conocimiento que hemos obtenido de la historia y del estudio analítico-fisiológico de las tendencias actuales. Este método es el descrito por Karl Marx y Friedrich Engels en su principio dialéctico, según el cual, debido a la oposición entre la tesis y la antítesis surge una nueva situación, la síntesis. Pero este principio no debe ser entendido como un algoritmo sin fin de la misma clase de los que encontramos en los símiles analíticos. Un verdadero algoritmo puede ser utilizado para tantos pasos como deseemos; esta es la razón de que podamos calcular tantos decimales como queramos en la expresión $\sqrt{2}$. Pero mientras que en cualquier coyuntura evolutiva podemos determinar la síntesis inmediata, no podemos predecir al mismo tiempo la tesis y la antítesis que emergerá de la nueva situación. Surgirán con el tiempo en forma de novedades, no como predicciones de nuestro sistema de razonamiento, ya sea éste dialéctico o aritmomórfico.

La utilidad de los modelos analíticos que representan símiles de procesos reales (despojados, sin embargo, de todo cambio cualitativo) no puede negarse. Pero lo que importa en la mayoría de los casos de estructuras evolutivas es la emergencia de novedades, de cambios cualitativos. Para esos aspectos no tenemos otra solución que una aproximación dialéctica, que incorpore los cambios estructurales particulares. Esto significa utilizar palabras, en vez de números, para aquellos cambios verdaderamente cualitativos que no pueden ser representados por modelos aritmomórficos. Por su propia naturaleza, las cualidades no pueden ser previamente ordenadas, como lo son los números. La parte más relevante de la historia es aquella contada con palabras, incluso cuando se la acompaña con algunas series temporales que marcan el paso del tiempo.

Desafortunadamente, ahora la profesión económica comulga con el veredicto de W. J. Baumol de que los trabajos de Karl Marx y Joseph Schumpeter no deben ser emulados porque son “vagos e impresionistas”[167]. La consecuencia se ve en el hecho de que en nuestro análisis de la inflación o del desempleo ignoramos completamente los efectos estructurales. El que nuestras recomendaciones políticas sean por ello totalmente ineficaces no

debería sorprendernos. Nuestra ciencia debe orientarse a sí misma hacia un número mayor de toda clase de estudios “vagos e impresionistas”, ya adelantados por Marx, Schumpeter y varios otros economistas menos conocidos (menos conocidos, pero no por su culpa). Para conseguir este efecto, me gustaría terminar con un apropiado consejo de Schumpeter: “Es un error razonar sobre el equilibrio agregado [de los modelos aritmomórficos] como si desplegase los factores que inician el cambio y como si la perturbación del sistema económico en su conjunto pudiera surgir sólo de tales agregados”[168].

Postscriptum

Como continuación de la discusión provocada por este artículo en el congreso, desearía reproducir un poema de un famoso ingeniero, uno de los pioneros de la termodinámica y colega de Lord Kelvin en la Universidad de Glasgow: William J. Macquorn Rankine, procedente de sus Songs and Fables (Glasgow, James Mackelhouse, 1870), p. 5.

El matemático enamorado

Hagamos que x signifique belleza e y buenos modales

Z, fortuna —esto es esencial—

Dejemos L para el amor —dijo nuestro filósofo—.

Entonces L es una función de x, y, z.

Del tipo conocido como potencial.

Ahora integremos L respecto de dt

(donde t significa tiempo y persuasión)

Entonces, dentro de los límites adecuados, esto es fácil de ver

La integral definida Matrimonio debe ser:

(Una demostración muy precisa).

Él dijo: “Si el asombroso curso de la Luna

Puede ser predicho por el álgebra,

Los afectos femeninos pronto deben someterse a ella”.

Pero la dama se fugó con un gallardo dragón,

Y lo dejó asombrado y afligido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sobre los aspectos biográficos

El lector o lectora interesados en profundizar en los aspectos biográficos de Georgescu-Roegen debe acudir, en primer lugar, a lo dicho por el propio economista rumano en Georgescu-Roegen (1988, 1992a,1992b, y 1993a). Después estarían los textos que ofrecen información sobre su vida con un apretado repaso a su obra: Zamagni (1986); Grinevald, (1996); Maneschi y Zamagni (1997); Martínez Alier, J (1994); y Carpintero (2006). Un trabajo muy completo es el de sus compatriotas: Dragan, J. y Demetrescu, M.A (1986, 2ª ed. 1991). También hay dos textos importantes en honor de Georgescu-Roegen: el primero es el editado por K. Mayumi y J. Gowdy (eds.) (1999), que recoge aportaciones de varios autores en torno a los temas tratados y estudiados por Georgescu. (Para los aspectos biográficos véase la introducción al volumen por parte de los editores: "Introduction: theory and reality - the life, work and thought of Nicholas Georgescu-Roegen", pp. 1-12). Y el otro trabajo que constituye una notable aportación a la divulgación de la obra del economista rumano es el de T. R. Beard y G. Lozada (1999) (para los aspectos biográficos, véase el capítulo 2). En castellano, la primera biografía de Georgescu-Roegen es la de Carpintero (2006).

La bibliografía más completa de todos los trabajos y traducciones de las obras de Georgescu-Roegen a los principales idiomas —así como textos de otros autores relacionados con el economista rumano— se encuentra recogida en la obra editada por Kozo Mayumi y John Gowdy (1999, pp. 381-401) y también, más recientemente, la editada por Bonaiuti (2011). También son útiles las recopilaciones de Dragan y Demetrescu (1986, pp. 211-223), de Beard y Lozada (1999, pp. 141-146) y de la edición castellana de La ley de la

entropía (pp. 527-545).

En la Universidad de Duke, dentro del Economist's Papers Project, se encuentran depositados los archivos personales de Georgescu-Roegen (Nicholas Georgescu-Roegen's Papers, Special Collections Library, Duke University, con 30 cajas de correspondencia y textos de Georgescu-Roegen durante el periodo 1944-1994, que contienen abundante información tanto desde el punto de vista vital como intelectual).

A continuación se ha optado también por destacar los trabajos de Georgescu-Roegen vertidos al castellano, algunos artículos que sobre este autor han sido escritos en nuestro idioma, y una relación de textos que ayudan a contextualizar y entender su obra.

2. Libros de Nicholas Georgescu-Roegen

Analytical Economics: Issues and Problems, Harvard University Press, 1966 (recopilación de artículos diversos desde 1936 hasta 1960).

The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, 1971 (versión castellana: La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria, 1996; hoy accesible en versión digital en la web de la Fundación César Manrique).

Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press, 1976 (recopilación de artículos de los años sesenta y setenta, con alguno anterior a dichas fechas).

3. Selección de artículos de Nicholas Georgescu-Roegen (no recogidos en los anteriores volúmenes)

(1951a): "The aggregate linear production function and its

applications to von Neumann's economic model", en Koopmans, T. C. (ed.), Activity Analysis of Production and Allocation, Nueva York, John H. Wiley & Sons, pp. 98-115.

(1951b): "Relaxation phenomena in linear dynamic models", en Koopmans, T. C. (ed.), Activity Analysis of Production and Allocation, Nueva York, John H. Wiley & Sons, pp. 116-131.

(1951c): "Some properties of a generalized Leontief model", en Koopmans, T. C. (ed.), Activity Analysis of Production and Allocation, Nueva York, John H. Wiley & Sons, pp. 165-173.

(1974): "Toward a human economics", American Economic Review, 64, pp. 449-450.

(1977a): "What thermodynamics and biology can teach to the economist", Atlantic Economic Journal, V, pp. 13-21.

(1977b): "Matter matters, too", en Wilson, K. D. (ed.) (1977), Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future, Nueva York, Praeger Press, pp. 293-313.

(1977c): "Inequality, limits and growth from a bioeconomic view point", Review of Social Economy, XXXV, (3), pp. 361-375.

(1977d): "The steady-state and ecological salvation", Bioscience, 27, 4, pp. 266-270.

(1977e): "Bioeconomics: A new look at the nature of economic activity", en Junker, L. (ed.), (1977): The Political Economy of Food and Energy, Ann Arbor, Michigan, pp. 105-134.

(1978a): "Mechanistic dogma and economics", British review of Economic Issues, 2, pp. 1-10.

(1978b): "Technology assessment: the case of the direct use of solar energy", Atlantic Economic Journal, 6, pp. 15-21.

(1979a): "Methods in economic science", Journal of Economic Issues, vol. XIII (2), pp. 49-59.

(1979b): "Energy analysis and economic valuation", Southern

Economic Journal, XLIV, abril, pp. 1023-1058.

(1979c): “Comments on the papers by Daly and Stiglitz”, en Smith, V. K. (ed.), Scarcity and Growth Reconsidered, Baltimore, Johns Hopkins University Press, pp. 95-105.

(1979d): “Myths about energy and matter”, Growth and Change, 10, pp. 16-23.

(1982): “The crisis of resources: Its nature and its unfolding”, en Daneke, G. A. (1982), Energy, Economics and Environment, Lexington, Mass., pp. 9-24.

(1983b): “Hermann Heinrich Gossen: His life and work in historical perspective”, introducción a Gossen, H. H. (1854), The Laws of Human Relations and The Rules of Human Action Derived Therefrom, MIT Press, Mass., pp. xi-cxlv.

(1986a): “The Entropy Law and the Economic Process in retrospect”, Eastern Economic Journal, vol. 12 (1), pp. 3-25.

(1986b): “Man and production” en Baranzini, F; Scarzieri, R. (1986), Foundations of Economics, Oxford, Basil Blackwell, pp. 247-280.

(1988): “An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, I”, Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, 164, pp. 3-31 (reeditado en Kregel, J. A. (ed.) (1989), Recollections of Eminent Economists, Londres, Macmillan, pp. 99-127, por el que se cita).

(1992a): “Nicholas Georgescu-Roegen about himself”, en Szenberg, M. (ed.) (1992), Eminent Economists, Cambridge University Press, pp. 128-157.

(1992b): “Nicholas Georgescu-Roegen (born 1906)”, en Arestis, P. y Sawyer, M. (eds.), A Biographical Dictionary of Dissenting Economists, Aldershot, Edward Elgar, pp. 179-187.

(1993a): “An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, II”, Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, 184, pp. 3-20.

(1993b): “Thermodynamics and we, the humans”, en Dragan, J. C; Seifert, E. K. y Demetrescu, M. C. (eds.), Entropy and Bioeconomics, The First International Conference of the EABS, Rome, 28-30 de noviembre de 1991, Roma, Nagard.

(1994): “Time in economics”, en Hagemann, H; Hamouda, O. H. (eds.) (1994), The Legacy of Hicks: His Contributins to Economic Analysis, Londres, Routledge, pp. 241-259.

4. Textos de Nicholas Georgescu-Roegen traducidos al castellano

(1967): “Teoría económica y economía agraria”, El Trimestre Económico, XXXIV, pp. 589-638 (traducción de “Economic theory and agrarian economics”, Oxford Economic Papers, 12, 1960, pp. 1-40. Reeditado en Analytical Economics y en Energy and Economic Myths).

(1968): “Utilidad”, en Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales, Madrid, Aguilar (traducción de la voz “Utility”, International Encyclopaedia of Social Science, Nueva York, Free Press).

(1972): “La ley de la entropía y el problema económico”, en Daly, H. E. (ed.) (1989), Economía, ecología y ética, México, FCE, pp. 61-72 (traducción de “The Entropy Law and the economic problem”, en Daly, H. (ed.), Toward a Steady-State Economy, San Francisco, Freeman, 1972, pp. 37-49).

(1975): “Energía y mitos económicos”, El Trimestre económico, 42, pp. 770-836. También en Información Comercial Española, 501, pp. 94-122. (Traducción de “Energy and economic myths”, Southern Economic Journal, 41, 1975, pp. 347-381. Reeditado en Energy and Economic Myths, pp. 3-36).

(1977): “¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y

la biología?", en Aguilera Klink, F.; Alcántara, V. (1994), De la economía ambiental a la economía ecológica, Barcelona, Icaria, pp. 313-320 (traducción de "What can thermodynamics and biology teach to the economists?", Atlantic Economic Journal, 5, 1977, pp. 13-21).

(1977): "Los modelos dinámicos y el crecimiento económico", en Dagum, C. (comp.) (1977), Metodología y crítica económica, México, FCE, pp. 503-515 (traducción de "Dynamic models and economic growth", reimpreso en Energy and Economic Myths, 1974, pp. 235-253).

(1977): "Nuevas reflexiones sobre la 'Dellusioni dell Econometria' de Corrado Gini", en Dagum, C. (comp.) (1977), Metodología y crítica económica, México, FCE, pp. 503-515 (traducción de "Further thoughts on Corrado Gini's 'Dellusiones dell'economietría'", Metron, vol. 25 (1-4), 1966, pp. 265-279).

(1978): "La ley de la entropía y el problema económico", Ciencia y desarrollo, 18, enero-febrero, 1978, pp. 64-70 (traducción de "The Entropy Law and the economic problem", en Daly, H. (ed.) Toward a Steady-State Economy, San Francisco, Freeman, 1972, pp. 37-49).

(1980): "Selecciones de 'Mitos de la economía y de la energía'", en Daly, H. E. (ed.) (1989), Economía, ecología y ética, México, FCE, pp. 73-92.

(1983): "La teoría energética del valor económico: un sofisma económico particular", El Trimestre Económico, nº 198, pp. 829-860.

(1990): "Epílogo" en Rifkin, J. (1990) Entropía. Hacia el mundo invernadero, Barcelona, Urano, pp. 298-307.

(1992): "Nicholas Georgescu-Roegen sobre sí mismo", en Szenberg, M. (ed.) (1994), Grandes economistas de hoy, Madrid, Debate, pp. 149-186 (traducción de "Nicholas Georgescu-Roegen about himself", en Szenberg, M. (ed.) (1992), Eminent Economists. Their Life Philosophies, Cambridge University Press, pp. 128-159).

(1996): La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid,

Fundación Argentaria-Visor Distribuidores (traducción de The Entropy Law and the Economic Process, Mass., Harvard University Press, 1971).

5. Textos en castellano sobre la obra de Nicholas Georgescu-Roegen

Carpintero, Ó. (1999): "Economía y ciencias de la naturaleza: algunas consideraciones sobre el legado de Nicholas Georgescu-Roegen", ICE, Revista de Economía, nº 779, pp. 127-142.

Carpintero, Ó. y S. López Arnal, (2001): "La dialéctica de los conceptos: un diálogo con Nicholas Georgescu-Roegen", en López Arnal, S. et al., (coords.), El valor de la ciencia, Barcelona, El Viejo Topo, pp. 171-195.

Carpintero, Ó. (2006): La bioeconomía de Georgescu-Roegen, Barcelona, Montesinos (prólogo de Joan Martínez Alier).

Daly, H. (1997b): "¿Cuánto tiempo seguirán los economistas neoclásicos ignorando las aportaciones de Georgescu-Roegen?", Jornada sobre Economía y Ciencias de la Naturaleza (Homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen), Madrid, Fundación Argentaria, 1997 (mimeografiado).

Grinevald, J. (1991): "Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen", Ecología Política, nº 1, pp. 99-112.

— (1996): "Prólogo" a La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria, pp. 15-40.

— (1997): "La figura de Georgescu-Roegen desde el ángulo de la sociología de la ciencia", Jornada sobre Economía y Ciencias de la Naturaleza (Homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen), Madrid, Fundación Argentaria, 1997 (mimeografiado).

Margalef, R. (1997): “La economía de la naturaleza”, Jornada sobre Economía y Ciencias de la Naturaleza (Homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen), Madrid, Fundación Argentaria (mimeografiado).

Martínez Alier, J. (1994): “La economía ecológica de Nicholas Georgescu-Roegen”, en Martínez Alier, J., De la economía ecológica al ecologismo popular, Barcelona, Icaria, pp. 33-50.

Naredo, J. (1996a): “Presentación”: en La ley de la Entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria, pp. 13-14.

Vázquez Espí, M. (1998): “Las vidas paralelas de Félix Candela y Nicholas Georgescu-Roegen”, Archipiélago, 33, pp. 40-46.

Wagensberg, J. (1979): “Nicholas Georgescu-Roegen: Ante la oscura incertidumbre de la historia”, Revista de Información Científica, Técnica y Cultural, 345, Barcelona, pp. 81-94.

6. Referencias relevantes para el estudio de la obra de Nicholas Georgescu-Roegen

Beard, T. R. y Lozada, G. (1999): Economics, Entropy and Environment. The Extraordinary Economics of Nicholas Georgescu-Roegen, Chentelham, Edward Elgar.

Blaug, M. (1985): Great Economists since Keynes, Totawa, Barnes and Nobel.

Bonaiuti, M. (2001): La Teoría Bioeconomica. La Nueva Economia di N. Georgescu-Roegen, Roma, Carocci.

— (2011): “Georgescu-Roegen, the man and the scientist” en Bonaiuti, M. (ed.), From Bioeconomics to Degrowth. Georgescu-Roegen’s “New Economics” in eight essays, Londres, Routledge, pp. 1-48.

Carpintero, Ó. (2006): La bioeconomía de Georgescu-Roegen, Barcelona, Montesinos (prólogo de Joan Martínez Alier).

Daly, H. E. (1977): Steady-State Economics, W. H. Freeman, Nueva York-San Francisco.

— (1980): Economics, Ecology, Ethics, W. H. Freeman, Nueva York-San Francisco (traducción castellana en FCE, 1989).

— (1992): "Is the Entropy Law relevant to the economics of natural resource scarcity? Yes, of course", Journal of Environmental Economics and Management, 23, pp. 91-95.

— (1995): "On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to Economics: an obituary essay", Ecological Economics, 13, pp. 149-154.

— (1997a): "Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz", Ecological Economics, 22, pp. 261-266.

Dragan, J. y Demetrescu, M. C. (1986): Entropy and Bioeconomics: The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen, Milán, Nagard (2ª edición, 1991).

Dragan, J. C.; Seifert, E. K. y Demetrescu, M.C. (eds.) (1993): Entropy and Bioeconomics, The First International Conference of the EABS, Roma, 28-30 de noviembre de 1991, Roma, Nagard.

— (eds.) (1998): Implications and Applications of Bioeconomics, The Second International Conference of the EABS, Palma de Mallorca, España, 11-13 de marzo de 1994, Roma, Nagard.

Gowdy, J. (1987): "Bio-Economics: Social economy versus Chicago School", International Journal of Social Economics, 14, pp. 32-42.

— (1993): "Georgescu-Roegen's utility theory applied to environmental economics", en Dragan, J. C.; Seifert, E. K. y Demetrescu, M. C. (eds.) (1993), op. cit., pp. 230-240.

Gowdy, J. y Mesner, S. (1998): "The evolution of Georgescu-Roegen's Bioeconomics", Review of Social Economy, vol. LVI, (2), pp. 136-156.

— (1999): “Georgescu-Roegen’s evolutionary economics”, en Mayumi, K. y Gowdy, J. (eds.) (1999), Bioeconomics and Sustainability, pp. 51-67.

Lozada, G. (1991): “A defence of Nicholas Georgescu-Roegen’s Paradigm”, Ecological Economics, 3, pp. 157-160.

Maneschi, A. y Zamagni, S. (1997): “Nicholas Georgescu-Roegen, 1906-1994”, The Economic Journal, 107, pp. 695-707.

Martínez Alier, J. (1994): De la economía ecológica al ecologismo popular, Barcelona, Icaria.

— (1997): “Some issues in agrarian and ecological economics, in memory of Georgescu-Roegen”, Ecological Economics, vol. 22 (3), pp. 203-224.

Mayumi, K. (1993): “Georgescu-Roegen’s Fourth Law of Thermodiynamics and the Flow-Fund Model”, en Dragan, J. C., Seifert, E. K. y Demetrescu, M. C. (eds.) (1993), op. cit., pp. 399-413.

— (1995): “Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994): An admirable epistemologist”, Structural Change and Economic Dynamics, 6, pp. 261-265.

— (2001): The Origins of Ecological Economics, Londres, Routledge.

— (2009): “Nicholas Georgescu-Roegen: His bioeconomis approach to development and change”, Development and Change, 40, vol. 6, pp. 1235-1254.

Mayumi, K.; Giampietro, M. y Gowdy, J. (1998): “Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz revisited”, Ecological Economics, 27, pp. 115-117.

Mayumi, K. y Gowdy, J. (eds.) (1999): Bioeconomics and Sustainability. Essays in Honour of Nicholas Georgescu-Roegen, Chentelhalm, Edward Elgar.

Mirowski, P. (1988): “Energy and energetics in economic theory: A

review essay", Journal of Economic Issues, vol. 22 (3), p. 811-830.

— (1989): More Heat than Light. Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics, Cambridge, Cambridge University Press.

— (1992): "Nicholas Georgescu-Roegen", en Samuels, W. (ed.) (1992), Research in the History of Economic Thought and Methodology, JAI Press, pp. 86-105.

Naredo, J. M. (1987): La economía en evolución, Madrid, Siglo XXI (2ª ed. 1996).

— (2001): "Quantifiying natural capital: Beyond monetary value", en Munashinge, M., O. Sunkel, y C. de Miguel (eds.), The Sustainability of Long-Term Growth, Edward Elgar, Cheltenham, pp. 172-212.

Naredo, J. M. y Valero, A. (1989): "Sobre la conexión entre termodinámica y economía convencional", Información Comercial Española, junio/julio, pp. 7-16.

— (dirs.) (1999): Desarrollo económico y deterioro ecológico, Madrid, Fundación Argentaria-Visor Distribuciones.

Samuelson, P. A. (1965): "Preface", en Georgescu-Roegen, N. (1966), Analitycal Economics: Issues and Problems, Harvard University Press, pp. vii-ix.

Screpanti, E. y Zamagni, S. (1993): Panorama de historia del pensamiento económico, Barcelona, Ariel.

Special Issue of Ecological Economics: The contribution of Nicholas Georgescu-Roegen, septiembre de 1997, nº 22 (3), pp. 171-306.

Zamagni, S. (1986): "Georgescu-Roegen, Nicholas", en Eatwel, J. et al. (1986), The New Palgrave Dictionary, vol. II, pp. 515-516.

NOTAS

1 * Una ampliación y profundización de las ideas contenidas en esta introducción puede encontrarse en Óscar Carpintero, La bioeconomía de Georgescu-Roegen, Barcelona, Montesinos, 2006 (prólogo de Joan Martínez Alier).

2 . Los detalles biográficos sobre Nicholas Georgescu-Roegen, contados de primera mano, se pueden leer en sus textos: "An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, I", Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, 164, 1988, pp. 3-31 (reeditado en J. A. Kregel (ed.), Recollections of Eminent Economists, Londres, Macmillan, 1989, pp. 99-127); y "An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, II", Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, 184, 1993, pp. 3-20.

3 . La investigación de Schumpeter se plasmó en su célebre libro Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process, Nueva York, McGraw-Hill, 1939.

4 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics: Issues and Problems, Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1966.

5 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1971. Hay traducción castellana: La ley de la entropía y el proceso económico, Fundación Argentaria-Visor Distribuidores, Madrid, 1996. Hoy accesible en versión digital en la web de la Fundación César

Manrique.

6 . J. Gowdy, “Georgescu-Roegen’s utility theory applied to environmental economics”, en J. D. Dragan, J. C; E. K. Seifert y M. C. Demetrescu (eds.), Entropy and Bioeconomics, The First International Conference of the EABS, Roma, 28-30 de noviembre de 1991, Roma, Nagard, 1993, pp. 230-240. J. Gowdy, y S. Mesner, “The evolution of Georgescu-Roegen’s Bioeconomics”, Review of Social Economy, vol. LVI (2), 1998, pp. 136-156.

7 . J. Grinevald, “Prólogo” a La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria, 1996, pp. 15-40.

8 . He argumentado este punto en La bioeconomía de Georgescu-Roegen, op. cit., capítulos III y IV.

9 . Véase N. Georgescu-Roegen, “Dynamic models and economic growth”, en Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press, 1976, p. 235 (original de 1974).

10 . M. Blaug, Great Economists since Keynes, Totawa, Barnes and Nobel, 1985, p. 71.

11 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press, 1976.

12 . Esta cautela es necesaria si no se quieren confundir las

propuestas bioeconómicas de autores como Georgescu-Roegen, Herman E. Daly, René Passet, Robert Ayres o John Gowdy con las de otros economistas norteamericanos de la Escuela de Chicago, como Gary Becker, Jack Hirshleifer, o Gordon Tullock quienes, bajo el mismo nombre de bioeconomía, han hecho circular en el mundo académico propuestas muy distintas. Una comparación de la propuesta de Georgescu-Roegen y la de la Escuela de Chicago se puede encontrar en Ó. Carpintero, La bioeconomía de Georgescu-Roegen, op. cit., capítulo VI.

13 . Véanse, entre otros, los textos recogidos en este volumen.

14 . En Ó. Carpintero, El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000), Lanzarote, Fundación César Manrique, 2005, he profundizado ampliamente en la metáfora del metabolismo económico.

15 . Existe una versión castellana de este trabajo: S. Carnot, Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego, Madrid, Alianza, 1987.

16 . Sobre los conceptos aritmomórficos y dialécticos, véase el artículo “Methods in economic science” (traducido en este volumen), y con más detalle en La ley de la entropía y el proceso económico, op. cit., cap. II.

17 . Véase la bibliografía al final del volumen para las traducciones españolas de este artículo.

18 . Incluido en este volumen.

19 . Véase M. Bonaiuti (ed.), From Bioeconomics to Degrowth. Georgescu-Roegen's "New Economics" in eight essays, Routledge, Londres, 2011.

20 . Sobre la importancia del "pensar con Georgescu-Roegen" pero también "más allá de Georgescu-Roegen" me he ocupado en La bioeconomía de Georgescu-Roegen, op. cit., pp. 243-246.

21 . H. E. Daly, "On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to Economics: An obituary essay", Ecological Economics, 13, 1995, pp. 149-154.

22 . J. Grinevald, "Prólogo" a La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Visor-Fundación Argentaria, 1996, pp. 15-40.

23 . Ó. Carpintero, La bioeconomía de Georgescu-Roegen, op. cit.

24 . J. Gowdy, "Towards a science-based theory of behavior: building on Georgescu-Roegen", en J. Farley y D. Malghan (eds.), Beyond Uneconomic Growth, Cheltenham, Edward Elgar, 2016, pp. 106-132; J. Gowdy y S. Mesner, "The evolution of Georgscu-Roegen's Bioeconomics", Review of Social Economy, vol. LVI (2), 1998, pp. 136-156; K. Mayumi, The Origins of Ecological Economics, Londres, Routledge, 2001; K. Mayumi y J. Gowdy (eds.), Bioeconomics and Sustainability. Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen, Chentelhalm, Edward Elgar, 1999; K. Mayumi, M. Giampietro y J. Gowdy, "Georgescu-Roegen/ Daly versus Solow/ Stiglitz revisited", Ecological Economics, 27 (2), 1998, pp. 115-117.

25 . M. Bonaiuti (ed.), From Bioeconomics to Degrowth, op. cit.

26 . P. Mir y J. González Calvet, Fondos, flujos y tiempo: un análisis microeconómico de los procesos productivos. Barcelona, Ariel, 2003; P. Mir y J. González Calvet, “El modelo de fondos y flujos y la escala de los procesos productivos”, Investigación económica, vol. 66, nº. 259, 2007, pp. 133-165; G. Vittucci Marzetti, “The flow-fund approach: A critical survey”, Journal of Economic Surveys, vol. 27, 2, 2013, pp. 209-233.

27 * Texto elaborado por Georgescu-Roegen —con la participación de Herman E. Daly y Kenneth E. Boulding—, firmado por más de doscientos economistas, y presentado en la reunión anual de la American Economic Association el 29 de diciembre de 1973. Publicado en American Economic Review, mayo, 1974, LXIV, 2, pp. 449-450. Formaba parte de un manifiesto más amplio promovido por la asociación DAI DONG con motivo de la Cumbre de Estocolmo de 1972, y a cuya redacción también contribuyó Georgescu-Roegen. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

28 * “The entropy law and the economic problem”, en H. E. Daly (ed.), Toward a Steady-State Economy, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1973, pp. 37-50. Versión castellana reproducida de la revista Ciencia y desarrollo, 18, enero-febrero, 1978, pp. 64-70, aunque revisada y corregida por el editor de este volumen (N. del E.).

. W. Stanley Jevons, The Theory of Political Economy, 4ª ed., Londres, 1924, p. 21.

29 . Por ejemplo, R. T. Bye, Principles of Economics, 5ª ed., Nueva York, 1956, p. 253; G. L. Bach, Economics, 2ª ed., Englewood Cliffs; N. J., 1957, p. 60; J. D. Dodd, C. W. Hasek, T. J. Hailstones;

Economics, Cincinnati, 1957, p. 125; R. M. Havens, J. S. Henderson, D. L. Cramer, Economics, Nueva York, 1966, p. 49; Paul A. Samuelson, Economics, 8ª ed., Nueva York, 1970, p. 42.

30 . K. Marx, Capital, 3 vols., Chicago, 1906-1933, 1, 92, 199, 230 y passim.

31 . Ibíd., II, cap. XX.

32 . The Economic Writings of Sir William Petty, ed. C. H. Hull, 2 vols., Cambridge, Inglaterra, 1899, II, 377. Curiosamente, Marx compartía la idea de Petty; pero alegaba que la naturaleza solamente "ayuda a crear el valor de uso sin contribuir a la formación del valor de cambio". Marx, Capital, I, p. 227. Véase también ibíd., p. 94.

33 . Por ejemplo, A. Marshall, Principles of Economics, 8ª ed., Nueva York, 1924, p. 63.

34 . Véase, para el problema de la representación analítica de un proceso, mi libro The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Mass., 1971, pp. 211-231.

35 . Esta diferenciación, juntamente con el hecho de que nadie cambiaría algunos recursos naturales por residuos, elimina la afirmación de Marx de que "ningún químico ha descubierto el valor de cambio en una perla o en un diamante". Capital, I, p. 95.

36 . D. ter Haar, “The quantum nature of matter and radiation”, en R. J. Blin-Stoyle et al. (eds.), Turning Points in Physics, Ámsterdam, 1959, p. 37.

37 . Un significado que recientemente se ha popularizado es el de la entropía como “la cantidad de información”. Véase The Entropy Law and the Economic Process, Apéndice B, como un argumento de lo engañoso que puede ser este término, y como una crítica de la supuesta conexión entre información y entropía física.

38 . Esta postura precisa de alguna elaboración técnica. La oposición entre la ley de la entropía (con su cambio cualitativo unidireccional) y la mecánica (donde todo puede moverse hacia adelante o atrás y permanecer idéntico a sí mismo) es aceptada sin reservas por todo físico y filósofo de la ciencia. Sin embargo, el dogma mecanicista conservó (y todavía conserva) el dominio sobre la actividad científica aun después de que la física lo revocara. El resultado fue que la mecánica, acompañada por el azar, fue introducida dentro de la termodinámica. Extraña compañía, ya que el azar es la misma antítesis de la naturaleza determinista de las leyes de la mecánica. A decir verdad, el nuevo edificio (conocido como mecánica estadística) no podía permitir que la mecánica se alojara bajo el mismo techo y excluir la reversibilidad al mismo tiempo. De modo que la mecánica estadística debe enseñar que un cubo de agua puede empezar a hervir por sí mismo. Este es un pensamiento que debe ocultarse, ya que el milagro, a pesar de su remota probabilidad, aún no se ha observado. Esta postura ha alimentado la creencia en la posibilidad de convertir la energía ligada en energía libre, o como lo dijo ingeniosamente P. W. Bridgman, de realizar “contrabando de entropía”. Véase The Entropy Law and the Economic Process, cap. VI, como una crítica a las falsedades de la mecánica estadística y de los diferentes intentos de enmendarlas.

39 . Esto no quiere decir que todo lo que contiene baja entropía

tenga que tener un valor económico. Los hongos venenosos también tienen baja entropía. La relación entre baja entropía y valor económico es similar a la que existe entre valor económico y precio. Un objeto puede tener precio sólo si tiene valor económico y, sólo puede tener valor económico si su entropía es baja. Pero lo contrario no es cierto.

40 . Véase nota 11 más arriba.

41 . G. Gamow, Matter, Earth, and Sky, Englewood Cliffs, N. J., 1958, p. 493 y ss.

42 . Cuatro días, según Eugene Ayres, “Power from the Sun”, Scientific American, agosto, 1950, p. 16. La situación no cambia aunque admitamos que se haya errado en un factor de mil en los cálculos.

43 . C. Clark, “Agricultural productivity in relation to population”, en G. Wolstenholme (ed.), Man and His Future, Boston, 1963, p. 35.

44 . El hecho de que en Suecia, durante la Segunda Guerra Mundial, los automóviles fueran impulsados por gas de calidad inferior obtenido al calentar madera con leña prueba que la idea no es improbable.

45 * “Bioeconomics: a new look at the nature of economic activity”, en Junker, L. (ed.), The Political Economy of Food and Energy, Michigan, Ann Arbor, pp. 105-134. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

46 . J. B. S. Haldane, The Causes of Evolution, Nueva York, Harper, 1935, p. 153.

47 . A. J. Lotka, “The Law of evolution as a maximal principle”, Human Biology, 17, 1945, p. 188.

48 . A. Marshall, Priciples of Economics, 8ª ed., Nueva York, Macmillan, 1949, p. xiv.

49 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1971, p. 56.

50 . J. A. Schumpeter, The Theory of Economic Development, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1934, p. 64. Para ver cómo era de verdad el punto de vista biológico de Schumpeter respecto al proceso económico, es necesario mencionar únicamente su insistencia en que los pequeños cambios, al ser reversibles, no constituyen verdaderas innovaciones. Este importante aspecto apareció en biología hace sólo treinta años con la tesis de R. Goldschmidt, en el sentido de que la evolución necesita la aparición de “monstruos exitosos”. Desde luego, la primera máquina de tren fue un monstruo exitoso en comparación con sus predecesores —los coches de caballos—. (N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays, Nueva York, Pergamon Press, 1976, capítulo 9).

51 . A. Smith, The Wealth of Nations, edición de Edwin Cannan, Nueva York, Random House, 1937, pp. 314-315.

52 . Tal y como sugieren los documentos escritos, esta preocupación apareció por primera vez en el Viejo Testamento, donde se establece que, cada cinco años, en el año jubilar, los siervos se liberaban, las deudas se perdonaban, y algunas posesiones mobiliarias (por ejemplo, el ganado) se redistribuían. Sin embargo, las casas de las ciudades no estaban afectadas por la redistribución jubilar (Levítico, 25: 8-55). No es necesario decir que una medida de bienestar de este tipo sólo podría funcionar en una sociedad mitad agrícola, mitad ganadera.

53 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1971, pp. 308 y 348-349.

54 . Debo apresurarme a añadir que el argumento anterior de ninguna manera implica que el Homo indicus, como individuo, no sea capaz de ser entrenado para realizar las mismas tareas que el Homo americanus. El argumento tiene que ver, no con las diferencias biológicas individuales, sino con la vida exosomática de cada sociedad.

55 . Véase “Peace Army urged to aid the poor”, Honolulu Bulletin, 2 de marzo, 1965, que es una declaración a la prensa realizada por el autor durante el Agricultural Development Council Seminar on Subsistence Agriculture. Véase, también, mi libro The Entropy Law and the Economic Process, p. 384. Por supuesto, también está el Ejército de la AYUDA. Pero sus miembros “están generalmente demasiado ocupados planificando y de fiesta... visitando a los aldeanos en sus cabañas enlodadas”, tal y como informó Jack Anderson en su columna “U.S. AID officials live in swell life in Haití”, 5 de agosto, 1976.

56 . Uno no debería llevarse a engaño en este punto. La tierra que

aparece en la función de producción convencional es la tierra ricardiana, es decir, simple espacio. Ciertamente, la tierra ricardiana es un factor válido de producción, pero de una naturaleza distinta a los recursos naturales. Véase mi The Entropy Law..., p. 232, y Energy and Economic Myths..., capítulos 4 y 5.

57 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics..., op. cit., pp. 18-19; The Entropy Law…, pp. 39-43; Energy and Economic Myths…, caps. 1 y 3.

58 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics..., op. cit., p. 92; The Entropy Law…, pp. 3 y 276; Energy and Economic Myths…, cap. 1.

59 . La anterior observación revela por qué la ley de la entropía es planteada, en ocasiones, como “el orden que continuamente se transforma en desorden”.

60 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths…, cap. 1, p. 7.

61 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law..., pp. 12 y 194.

62 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics..., p. 94; The Entropy Law…, p. 278.

63 . Palabra intraducible que es mezcla de dos vocablos: garbage (basura doméstica aprovechable con reciclaje) y junk (desechos de

procesos productivos que pueden ser reciclados) (N. del E.).

64 . N. Georgscu-Roegen, “The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis”, BioScience, vol. 27, pp. 266-270.

65 . K. E. Boulding, “The economics of the coming Spaceship Earth”, en H. E. Daly (ed.), Toward a Steady-State Economy, San Francisco; W. H. Freeman, 1973, p. 127-132.

66 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law…, pp. 224-234.

67 . Hay dos matizaciones que deben acompañarse a estas afirmaciones que, aunque irrelevantes, tienen que ver con la actual argumentación. La primera es que se debe considerar la desintegración nuclear (por ejemplo, de radio en plomo) que disminuye la masa y aumenta la energía. El segundo factor son los meteoritos que caen en la Tierra y las partículas que pueden escapar a la gravitación terrestre.

68 . N. Georgescu-Roegen, “The steady state and ecological salvation: A thermodynamic analysis”.

69 . Algunos síntomas de la presión de la materia pueden haber sido ya detectados en los altos y crecientes costes de las instalaciones que pretenden ahorrar combustibles fósiles. La instalación solar en una escuela elemental en Atlanta cuesta casi un millón de dólares, aunque proporciona sólo el 60% de la energía que se necesita. Un molino de viento que tiene una capacidad de unos pocos kilovatios necesita toneladas de aluminio además de otros materiales.

Aprovechar la energía solar de una forma diferente a la proporcionada por los procesos naturales podría llevarnos a fracasar por causa de la escasez de materiales. Además, nadie puede decir qué aspecto tendrá una planta termonuclear, caso de conseguirla alguna vez; pero sí cabe recordar que el acelerador del Fermilab tiene un diámetro de dos kilómetros (1'25 millas) e incorpora varios miles de imanes.

70 . Véase su artículo "In defence of a Steady-State Economy", American Journal of Agricultural Economics, 54, pp. 945-954.

71 . British Termal Unit = 1.055'05585262 julios (N. del E.).

72 . Una matización: incluso aunque la energía solar acabe como energía térmica disipada, influye en la vegetación y el clima si se utiliza en un lugar diferente del que ha sido acumulada.

73 . Véase lo dicho en la nota 23.

74 . A. Weinberg y P. Hammond, "Limits to the use of energy", American Scientist, julio-agosto, 1970, pp. 412-418.

75 . Hace diez años, Edward Teller militó incluso en contra de los reactores de fisión porque, pensaba él, el reactor termonuclear estaba al alcance de la mano. "Energy pattern of the future", en Courtney C. Brown (ed.), Energy and Man: A Symposium, Nueva York, Appleton-Century-Crofts, 1960, pp. 52-72.

76 . N. Georgescu-Roegen, “The Steady State and ecological salvation: A thermodynamic analysis”.

77 . Existen otras fuentes no directamente conectadas con la energía solar —la energía de las mareas, la energía geotérmica, y, con grandes reservas, el gradiente térmico de los océanos—. Pero mientras que esas fuentes resultan de gran ayuda cuando se las utiliza, apenas tienen importancia a escala mundial.

78 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths, cap. 1.

79 . En su Energy and Society, Nueva York, McGraw-Hill, 1955.

80 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law…, pp. 17, 278, 283.

81 . Véase N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics, p. 960.

82 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths, cap. 1.

83 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law…, pp. 19 y 301-302; Energy and Economic Myths…, caps. 1 y 3.

84 . Este punto omite el hecho agravante de los rendimientos decrecientes de las variedades de alto rendimiento con respecto a la mayoría de los inputs.

85 . Los precios son coordenadas económicas muy limitadas, con independencia de lo que puedan hacer. Dependen de muchas cosas —distribución de la renta, distribución de los recursos, y también de la moda—.

86 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law…, pp. 21 y 304; Energy and Economic Myths…, caps. 1 y 3.

87 . National Research Council, National Academy of Sciences, Decision Making for Regulating Chemicals in the Environment, Washington D. C., 1975.

88 . Energy and Economic Myths…, cap. 1.

89 . La reducción no debería ser demasiado rápida porque la era de las pirámides se podría convertir en algo incluso más anómalo de lo que lo es ahora. Con una proporción excepcionalmente grande de ancianos en comparación con la población trabajadora, cabe esperar un conflicto entre dos generaciones que adquiriera formas extremas tales como la legalización de la eutanasia.

90 . Democracy in America, editado por J. P. Mayer y Max Lerner, Nueva York, Harper and Row, 1966, pp. 508-509.

91 . Este artículo se terminó mientras el autor disfrutaba de una ayuda de la Fundación Earhart. Muchas de las ideas presentadas aquí son parte de un libro del autor, titulado Bioeconomics, que será publicado por Princeton University Press en 1977.

92 * Extracto de “The crisis of natural resources”, Challenge, marzo/abril, 1981, pp. 50-56. El texto se corresponde con las páginas 54-56. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

93 * “Bioeconomics and ethics”. Fragmento de un texto inédito presentado por Georgescu-Roegen al Third World Congress of Social Economics, 1973. Al tratarse de una conferencia, las citas sólo están indicadas pero no completas. Agradecemos a Robert Byrd, director del Rare Book and Special Collections Library de la Universidad de Duke, la autorización para la traducción y reproducción de este texto. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

94 . J. Bentham, Works, I, p. 1.

95 . Platón, Leyes,1, 644.

96 . Platón, Filebo, 21.

97 . J. Bentham, Works, I, p. 90.

98 . N. Georgescu-Roegen, Utility, 1968.

99 . Adam Smith, Wealth of nations, IV, i.

100 . Halevy, p. 131.

101 . Hume, A Treatise, p. 521. El campeón moderno de la tesis de Hume es G. E. Moore (Principia Ethica). Esta posición parece incontrovertible. Y no obstante se han hecho intentos por refutarla. Por ejemplo, John Searle (Philosophical Review, enero, 1974) plantea que de la proposición "John es deudor de Bill por valor de cinco dólares" se sigue que "John debe pagar a Bill". El error debería (o no debería) ser obvio. En la pregunta de Hume, él dice "que se dé alguna razón", no que "debería darse".

102 . Como nos enseñó más tarde Max Planck, "la ley de causalidad es la regla que guía la ciencia, pero el imperativo categórico —esto es, el dictado del deber— es la regla que guía la vida" (The New Science, p. 121).

103 . I. Kant, Mehaphysics of Ethics, p. 17.

104 . Ibíd., p. 19.

105 . Ibíd., p. 37 y ss.; 48n, y 84.

106 . Ethical Relativity, p. 289.

107 . Methaphysical Elements of Ethics.

108 * "Myths about energy and matter", Growth and Change, enero, 1979, pp. 16-22. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

. Me gustaría que este artículo fuera tomado como una muestra de

mi gratitud por William H. Myernik y de mi simpatía intelectual hacia él.

109 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays, Nueva York, Pergamon, 1976.

110 . R. M. Solow, “The economics of resources or the resources of economics”, American Economic Review, vol. 64, nº 2, mayo, 1974, pp. 1-14; y Robert M. Solow, “Is the end of the world at hand?”, Challenge, vol. 16, nº 1, marzo/abril, 1973, pp. 39-50.

111 . Para esta diferencia, véase Nicholas Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1971, pp. 228-275.

112 . Entre los varios economistas que defienden todavía esta manera de razonar sobre los fenómenos económicos, cabe citar a J. E. Stiglitz, “A neoclassical analysis of the economics of natural resources”, en J. V. Krutilla, V. Kerry Smith y R. Kapp (eds.), Resources for the Future: Of Environmental Constraints to Economic Growth and Well-Being, Baltimore, Johns Hopkins University Press, en prensa. Véanse también las críticas de Nicholas Georgescu-Roegen en el mismo volumen: “Comments on the papers by Daly and Stiglitz”.

113 . Carl Kaysen, “The computer that printed out W*O*L*F”, Foreign Affairs, vol. 50, nº 4, julio de 1972, pp. 660-668. Véase también Wilfred Beckerman, “Economists, scientists, and economic catastrophe”, Oxford Economic Papers, vol. 24, nº 3, noviembre, 1972, pp. 327-344.

114 . De acuerdo con la estimación más optimista de todas las reservas de combustibles fósiles, estas reservas (si se quemaran a la intensidad necesaria) no producirían más que el equivalente a unas pocas semanas de radiación solar.

115 . William H. Myernik, “Regional employment impacts of rising energy prices”, Labor Law Journal, vol. 26, nº 8, agosto, 1975, pp. 518-523.

116 . Beckerman, op. cit., Kaysen, op. cit., y R. Solow, “The economics of resources or the resources of economics”.

117 . William H. Myernik, Frank Giarratani, y Charles F. Socher, Regional Impacts of Rising Energy Prices, Cambridge, Mass., Ballinger, 1978.

118 . Alvin Weinberg, “Energy as an ultimate raw material”, Physics Today, vol. 12, nº 1, 1959, pp. 18-25.

119 . Glenn Seaborg, “The Erehwon machine: Possibilities for reconciling goals by way of new technology”, en S. H. Schurr (ed.), Energy, Economic Growth and Environment, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1972, pp. 125-138.

120 . Harold Barnett y Chandler Morse, Scarcity and Growth, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1963.

121 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays.

122 . P. W. Bridgman, “Statistical mechanics and the Second Law of thermodynamics”, en: Reflections of a Physicist, 2ª ed., Nueva York, Philosophical Library, 1955, pp. 236-268.

123 . Los argumentos de cada parte son, como cabía esperar, altamente complicados. El lector puede encontrarlos en una forma accesible en Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process.

124 . Véase Ilya Prigogine, “Time, structure, and entropy”, en Jirf Zeman (ed.), Time in Science and Philosophy, Nueva York, Elsevier, 1971; Ilya Prigogine, “Irreversibility as a symmetry-breaking process”, Nature, vol. 246, nº 5428, 9 de noviembre, 1973, pp. 61-71; Ilya Prigogine, C. George, F. Henin, y L. Rosenfeld, “A unified formulation of dynamics and thermodynamics”, Chemica Scripta, vol. 4, nº 1, 1973, pp. 5-32.

125 . Peter L. Auer, un profesor de la Universidad de Cornell y antiguo consultor del presidente de la Comisión de Energía Nuclear, denunció muy recientemente ante los lectores mi argumento de que existe un conflicto fundamental entre los conceptos reversibles de la mecánica clásica y los conceptos irreversibles de la termodinámica, y afirmó que en esta cuestión yo estaba “sólo sencillamente equivocado” (énfasis mío). Para justificar esta salida de tono académica, Auer recurre a la llamada de tres nombres (el tercero de ellos fuera de lugar): “Tenemos a Ludwig Boltzmann, J. Willard Gibbs y David Hilbert, entre otros, para agradecer el haber dejado esta cuestión resuelta para siempre”. Quizá Auer todavía cree en el contrabando de entropía, pues el sentido de su artículo es que la ley de la entropía no es un obstáculo para el crecimiento económico

ilimitado. Pero es más probable que sólo estuviera acusando desde la sencilla ignorancia.

126 . Harrison Brown, James Bonner, y John Weir, The Next Hundred Years, Nueva York, Viking, 1957. Para ser justos con la excelente erudición de Brown, quisiera añadir que, curiosamente, en el mismo volumen podemos encontrar los argumentos más convincentes contra el dogma energético. Harrison Brown, "Human materials production as a process in the biosphere", Scientific American, vol. 223, nº 3, septiembre de 1970, pp. 194-208, es el texto más iluminador.

127 . H. T. Odum, "Energy, ecology and economics", Ambio, vol. 2, nº 6, 1973, pp. 220-227.

128 . Malcom Slesser, "Accounting for energy", Nature, vol. 254, nº 5497, 20 de marzo de 1975, pp. 170-172.

129 . Kenneth E. Boulding, "The economics of the coming Spaceship Earth", en H. Jarret (ed.), Environmental Quality in a Growing Economy, Baltimore, John Hopkins University Press, 1966, pp. 3-14.

130 . N. Georgescu-Roegen, "The steady-state and ecological salvation: A thermodynamic analysis", BioScience, vol. 27., nº 4, abril, 1977, pp. 266-270; N. Georgescu-Roegen, "Matter matters, too", en K. D. Wilson (ed.), Prospects for Growth, Nueva York, Praeger, 1977, pp. 293-313. Véase también N. Georgescu-Roegen, "Matter: A resource ignored by thermodynamics", en Proceedings of the World Conference on Future Sources of Organic Raw Materials, Toronto, 10-13 de julio, 1978, Toronto, Pergamon; N. Georgescu-Roegen, "Technology assessment: The case of direct use of solar

energy", Atlantic Economic Journal, enero, 1979 (en prensa); y N. Georgescu-Roegen, "Energy analysis and economic valuation", Southern Economic Journal, abril,1979 (en prensa).

131 . R. J. Talyler, The Origin of Chemical Elements, Londres, Wykeham, 1972.

132 . Slesser, op. cit.

133 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths.

134 . David A. Huettner, "Net energy analysis: An economic assessment", Science, vol. 192, nº 4235 (9 de abril de 1976), pp. 101-104.

135 . N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, y "The energetic dogma, energy analysis and technology".

136 . Tal análisis es el método oficial utilizado por la ERDA (Energy Research and Development Agency).

137 . Denis Hayes, "We can use solar energy now", Washington Post, 26 de febrero, 1978, pp. D1-D4.

138 . Para tal programa mínimo, véase Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths.

139 . Durante la elaboración de este artículo, el autor era miembro de la Fundación Earhart.

140 * “Methods in economic science”, Journal of Economic Issues, vol. XIII, nº 2, junio, 1979, pp. 317-328. Este artículo se presentó en el Congreso Anual de la Association for Evolutionary Economics, Chicago, Illinois, 29-30 de agosto de 1978. Traducción de Óscar Carpintero (N. del E.).

. Véanse las citas en N. Georgescu-Roegen, The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Mass., Harvard Univesity Press, 1971, p. 341.

141 . Lord Kelvin y P. G. Tait, Treatise on Natural Philosophy, reimpreso como: Principles of Mechanics and Dynamics, Nueva York, Dover, 1962, Parte I, p. viii. Véase también la muy reciente advertencia de un gran erudito entre los ingenieros británicos: Reginald O. Kapp, citado en Nicholas Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Essays, Nueva York, Pergamon Press, 1976, p. 61.

142 . Paul A. Samuelson et al., “Mathematics in economics: Discussion on Mr. Novik’s article”, Review of Economics and Statistics, 36, noviembre, 1954, pp. 359-386. Para la frase de Koopmans, véase p. 379.

143 . R. J. Aumann, “Markets with a continuum of traders”, Econometrica, 32, enero, 1964, pp. 39-50.

144 . Donald J. Brown y Abraham Robinson, “A limit theorem on

the cores of large standard exchange economies", Proceedings of the National Academy of Sciences, 69, mayo, 1972, pp. 1258-1260.

145 . De manera interesante, Aumann admite que "la idea de un continuo de agentes que operan puede parecer extravagante al lector", pero argumenta que no lo es más que "un continuo de partículas" en un fluido mecánico. De ahí que la mecánica parezca ser la justificación de cualquier fantasía en economía.

146 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths, cap. 9.

147 . Ibíd., capítulos, 2, 4 y 5.

148 . Véase, por ejemplo, J. E. Stiglitz, "A neoclassical analysis of the economics of natural resources", próximamente en Scarcity and Growth Reconsidered, editado por V. Kerry Smith, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1979.

149 . Véase, por ejemplo, E. Malinvaud, The Theory of Unemployment Reconsidererd, Oxford, Blackwell, 1977. También: Jean-Paul Fitoussi y Nicholas Georgescu-Roegen, "Structure and involuntary unemployment", artículo presentado en el congreso de la International Association of Economics, Obernai, Francia (Proceedings, en prensa).

150 . Paul A. Samuelson, "Les économistes ne sont plus ce qu'íls étaient", Le Nouvel Économiste, 31, octubre de 1973. Traducción de Georgescu-Roegen.

151 . Pierre Simon de Laplace, A Philosophical Essay on Probability, Nueva York, Willey, 1902.

152 . Wilhem Wundt, Logik, 3ª ed, Stuttgart, F. Enke, 1906-1908, vol. 2, p. 274. Traducción de Georgescu-Roegen.

153 . Paul Painlevé, Les axiomes de la mécanique: Examen critique, París, Gauthier-Villars, 1922. Traducción de Georgescu-Roegen.

154 . W. Stanley Jevons, The Theory of Political Economy, 2ª ed., Londres, Macmillan, 1879, p. 21.

155 . Vilfredo Pareto, Manuale di economia política, Milan, Societá Editrice Libraria, 1906, capítulos 3 y 4 (de los que ahora existe traducción inglesa).

156 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics: Issues and Problems, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966, pp. 116-124, y The Entropy Law..., cap. 11, sección 4.

157 . Se refiere al juego de palabras que Frisch realizó, utilizando el verbo “to play”, que significa jugar, para poner de relieve cómo la pérdida de sustancia económica en la utilización de las matemáticas había dado lugar a “juegos” formales, en vez de a genuina investigación económica (N. del E.).

158 . N. Georgescu-Roegen, Energy and Economic Myths, pp. 3-4, y 326.

159 . Para resaltar la dimensión cualitativa de la evolución económica, Schumpeter opinaba que no por añadir sucesivos vagones íbamos finalmente a obtener un tren. Hacía falta, obviamente, inventar la locomotora (que era algo cualitativamente diferente a los vagones) que lo pusiera en marcha (N. del E.).

160 . N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics, pp. 61-64, y The Entropy Law, cap. 5.

161 . N. Georgescu-Roegen utiliza el adjetivo discreto en su sentido matemático, por oposición a continuo (N. del E.).

162 . La tesis dialéctica fue desarrollada por primera vez por el autor en su Analytical Economics, pp. 22-46, y de manera ampliada en The Entropy Law, capítulos 2 y 3. Respecto a esta tesis, véase Phyllis Colvin, “Ontological and epistemological commitments and social relations in the sciences: The case of the aritmomorphic system of scientific production”, en The Social Production of Scientific Knowledge, editado por Everett Mendelsohn, Peter Weingart y Richard Whitley, Dordrectht, Reidel, 1977, pp. 103-128; y Richard Mattessich, Instrumental Reasoning and Systems Methodology, Dordrecht, Reidel, 1978, pp. 301-304.

Recientemente, algunos pronunciamientos sugieren que el concepto matemático de “conjunto borroso” constituye una representación analítica de nuestras vagas y difusas ideas (que yo he denominado dialécticas). Debería ser obvio que la penumbra dialéctica no puede ser representada por ningún límite aritmomórfico, más de lo que la duración dialéctica puede ser representada por el continuo aritmético. N. Georgescu-Roegen, Analytical Economics, pp. 32-34; y Entropy Law, Apéndice A.

163 . Bertrand Russell, Mysticism and Logic, Londres, Allen and Unwin, 1932, p. 212.

164 . Aquí me estoy refiriendo a una ley determinada que nos permite predecir el comportamiento de una manera general. Soy consciente de que algunas asociaciones particulares entre un gen y algún comportamiento específico han sido establecidas como resultado de investigaciones empíricas directas.

165 . N. Georgescu-Roegen, Entropy Law, pp. 434-437.

166 . G. W. F. Hegel, Hegel's Science of Logic, Londres, Allen and Unwin, 1951, vol. 2, p. 68.

167 . W. J. Baumol, Economic Dynamics, 3ª ed., Nueva York, Macmillan, 1970, p. 351.

168 . Joseph A. Schumpeter, Business Cycles, Nueva York, McGraw-Hill, 1939, p. 43.

Índice

NOTA A LA SEGUNDA EDICIÓN

INTRODUCCIÓN. NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN: UN ECONOMISTA TRANSDISCIPLINAR

GEORGESCU-ROEGEN Y SU TIEMPO

HACIA UNA ECONOMÍA HUMANA*27

LA LEY DE LA ENTROPÍA Y EL PROBLEMA ECONÓMICO*

BIOECONOMÍA: UNA NUEVA MIRADA A LA NATURALEZA DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA*45

LA CRISIS DE LOS RECURSOS NATURALES*92

BIOECONOMÍA Y ÉTICA*93

MITOS SOBRE LA ENERGÍA Y LA MATERIA*

LOS MÉTODOS DE LA CIENCIA ECONÓMICA*

BIBLIOGRAFÍA

NOTAS